POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Applicazione dei principi di Digital Supply Chain ad un'azienda del settore meccanico.

Il caso Tecfi SpA

Relatore

Ch. Prof.ssa Anna Corinna Cagliano

Candidato

Rosario Guarino

Anno Accademico 2018/2019

INDICE

INTRODUZIONE……. 6

1 DIGITAL SUPPLY CHAIN: ELEMENTI CARATTERIZZANTI E TECNOLOGIE ABILITANTI.....10

1.1 INDUSTRIA 4.0: il nuovo concetto di *Smart Factory*..... 10
1.2 DIGITAL SUPPLY CHAIN..... 16
1.3 TECNOLOGIE ALLA BASE DELLA *DIGITAL SUPPLY CHAIN* 22
1.3.1 Cyber-Physical-Systems (CPS) 23
1.3.2 Internet of Things (IoT) 26
1.3.3 Big Data e Big Data Analytics..... 30
1.3.4 Cloud Computing..... 34
1.3.5 Blockchain 39
1.3.6 Additive Manufacturing (AM) 42
1.3.7 Advanced Automation 57
1.3.8 Advanced Human - Machine Interface (HMI) 59
1.3.9 Agumented Reality (AR)..... 61

2 ANALISI DELLA LETTERATURA, LE NUOVE PROSPETTIVE DEL MERCATO DEL LAVORO ED I NUOVI MODELLI DI BUSINESS 64

2.1 ANALISI DELLA LETTERATURA..... 64
2.1.1 Scopo dell'analisi..... 65
2.1.2 Ricerca tematiche Supply Chain e le sue evoluzioni nel tempo 65
2.1.3 Ricerca strumenti a supporto della Digital Supply Chain 68
2.2 STUDIO TREND DETERMINATI DALLA SMART SUPPLY CHAIN 69
2.2.1 Esempi tratti dalla letteratura..... 69
2.2.2 Come cambia il mondo del lavoro..... 70
2.2.3 I nuovi modelli imprenditoriali..... 74
2.3 GAP DELLA LETTERATURA..... 77

3 LA TECFI SPA 78

3.1 LA STORIA..... 78
3.2 GLI IMPIANTI PRODUTTIVI DELLA TECFI SPA 80
3.3 FOCUS PRODOTTI..... 82
3.4 INDUSTRY, MERCATO E CLIENTI..... 84

3.5 FORNITORI 85
3.6 I NUMERI DI TECFI 85

4 ANALISI DEL PROCESSO LOGISTICO DI PREPARAZIONE DELL'ORDINE ..87

4.1 APRROCCIO UTILIZZATO PER L'INDIVIDUAZIONE E L'ANALISI DEL PROCESSO 87
4.2 PROCESSO AS-IS 88
4.3 PROCESSI A SUPPORTO DEL PROCESSO DI PREPARAZIONE DELL'ORDINE . 91
4.3.1 Assemblaggio 91
4.3.2 Confezionamento 92
4.3.3 Produzione 94
4.3.4 Approvvigionamento 95
4.4 CRITICITÀ DEL PROCESSO 96
4.4.1 Gestione del flusso informativo 97
4.4.2 Monitoraggio delle attività di magazzino 99
4.4.3 Tracciabilità del processo 100
4.5 PROGETTI IN ESSERE IN AMBITO LOGISTICO 102

5 APPLICAZIONE DEGLI STRUMENTI *DIGITAL SUPPLY CHAIN*. IL CASO TECFI 104

5.1 INFORMATIZZAZIONE E TRACCIABILITÀ, IL PROCESSO TO-BE 105
5.1.1 Visione di medio-lungo periodo 105
5.1.2 Visione di breve periodo 108
5.2 TECNOLOGIE ABILITANTI IL PROCESSO *TO-BE* 109
5.2.1 Cloud Computing 111
5.2.2 Internet of Things (IoT) 113
5.2.3 Big Data e Big Data Analytics 115
5.3 ALTRE APPLICAZIONI IOT 117
5.3.1 Smart Manufacturing 117
5.3.2 Manutenzione predittiva 118
5.3.3 RFID vs Barcode: le tecnologie che trasformano le informazioni fisiche in digitale 119
5.4 ALTRE TECNOLOGIE IMPLEMENTABILI 120
5.4.1 Agumented Reality (AR) 120
5.4.2 Additive Manufacturing (AM) 121
5.5 CONSIDERAZIONI SULLE SOLUZIONI PROPOSTE 122
5.5.1 Classificazione soluzioni implementabili 124
5.5.2 Investimento ERP 125

6 CONCLUSIONI 128

6.1 CONSIDERAZIONI FINALI 128
6.2 BENEFICI PER L'AZIENDA DEL LAVORO DI TESI 129
6.3 LIMITI DEL LAVORO DI TESI 130
6.4 PASSI FUTURI 132

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Le quattro rivoluzioni industriali: le innovazioni introdotte 11

Figura 2 - I vantaggi dell'implementazione della Digital Supply Chain 14

Figura 3 - Caratteristiche Supply Chain tradizionale 17

Figura 4 - Struttura Supply Chain 18

Figura 5 - Attori costituenti la Supply Chain 19

Figura 6 - Tecniche ed applicazioni associate ad ogni livello dell'architettura 5C 25

Figura 7 - Principali applicazioni IoT 28

Figura 8 - L'estrapolazione del valore intrinseco ai Big Data 30

Figura 9 - Le 4V dei Big Data 31

Figura 10 - Dai Data raccolti ai benefici ottenuti 34

Figura 11 - Le caratteristiche del Cloud Computing 36

Figura 12 - La rete Distributed Ledger 39

Figura 13 - Le caratterisriche della Blockchain 40

Figura 14 - Le 6 fasi caratterizzanti una transazione 41

Figura 15 - Come cambia la correlazione tra Complessità e Costi nell'AM 43

Figura 16 - Stereolitografia 46

Figura 17 - Fused Deposition Modeling 48

Figura 18 - Selective Laser Sintering 49

Figura 19 - Direct Metal Laser Sintering 51

Figura 20 - Stampante 3D 52

Figura 21 - Stampa a getto d'inchiostro 54

Figura 22 - Fotopolimero a getto d'inchiostro 55

Figura 23 - Laminated Object Manufacturing 56

Figura 24 - Un esempio di Cobot 58

Figura 25 - Alcuni esempi di applicazioni HMI 60

Figura 26 - Esempi di applicazioni VR 61

Figura 27 - Esempi di applicazioni industriali di AR 63

Figura 28 - L'evoluzione dell'automazione sulla forza lavoro entro il 2030 71

Figura 29 - Come cambierà l'ambito occupazionale dei lavoratori di oggi entro il 2030 72

Figura 30 - I 4 nuovi modelli imprenditoriali individuati da McKinsey 74

Figura 31 - Stabilimento 1 con impianto fotovoltaico.....**Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 32 - Stabilimento 2 .....**Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 33 - Stabilimento 3 .....**Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 34 - Linee automatiche di stampaggio ad iniezione di materiali plastici **Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 35 - Linee automatiche di tranciatura.....**Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 36 - Linee automatiche di stampaggio viterie .....**Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 37 - Linee automatiche macchine confezionatrici.....**Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 38 - Principali gamme di prodotto Tecfi 83

Figura 39 - Alcuni esempi di applicazioni..... 83

Figura 40 - Organigramma Tecfi .....**Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 41 - Esempio layout dispositivo in dotazione agli operatori 107

Figura 42 - Esempio layout ERP: maschera Ufficio Acquisti 113

Figura 43 - Esempio di accesso da un dispositivo mobile..... 113

Figura 44 - Overview mercato soluzioni ERP 126

INTRODUZIONE

La rivoluzione digitale, l'implementazione del computer e la diffusione di internet hanno fortemente caratterizzato la seconda parte del XX secolo e profondamente stravolto il contesto in cui viviamo; determinando nuovi standard comunicativi e reso l'informazione ampiamente accessibile, grazie alla moltiplicazione dei dispositivi connessi. Se la terza rivoluzione industriale ha portato importanti benefici in materia di tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni, semplificando le relazioni tra fornitori e clienti, l'ampia diffusione dei canali d'accesso ad internet promette di stravolgere ancora di più le realtà industriali. Proprio a causa di queste innovazioni, a partire dal secondo decennio del XXI secolo è cambiato il concetto di *Supply Chain* tradizionale, non più intesa come una rete di imprese autonome che si relazionano con le altre entità a monte ed a valle (Pinna, 2006), ma viene ridisegnata sui concetti fondamentali di integrazione, innovazione ed automatizzazione, finalizzata quindi alla collaborazione ed alla condivisione *real-time* dell'informazione lungo l'intera catena, in modo da soddisfare il più possibile i requisiti del consumatore finale (Wu, et al., 2016). Sulla base dei nuovi concetti di *Smart Factory*, *Smart Manufacturing*, *Digital Supply Chain e Smart Supply Chain*, si arrivano a definire le caratteristiche della quarta rivoluzione industriale o Industria 4.0 che, a differenza delle precedenti, non introduce nel mondo industriale un'innovazione dirompente in grado di stravolgere il paradigma dell'industria manifatturiera; bensì offre l'opportunità alle imprese di diventare agili e reattive, in modo da adattarsi alle nuove dinamiche dei mercati, sempre più tendenti alla *mass customization*.

Queste tematiche, introdotte per la prima volta alla Fiera di Hannover (Germania) nel 2011, sono state ampiamente approfondite in numerosi studi trattanti sia gli aspetti teorici che gli esempi di implementazione. La maggior parte di queste pubblicazioni, riguardanti imprese definite "grandi" o *start-up* neonate, tendono a definire la trasformazione digitale costosa, data non solo la rilevanza diretta degli investimenti necessari ma anche in ottica formazione del personale per lo sviluppo di *skills* digitali, e *distruptive*, per le *routines* organizzative.

Sulla base di quanto riscontrato dallo studio delle fonti bibliografiche è stato esplicitato il gap della ricerca che tale elaborato mira a colmare, lo studio

dell'impatto che queste tecnologie possono avere su una media impresa italiana, tenuto conto dei vincoli economici stringenti, date le dimensioni, e l'organizzazione del lavoro basato su *routines* consolidate e molto spesso informali.

Quindi, l'obiettivo di questa tesi è innanzitutto mostrare come gli strumenti abilitanti la *Digital Supply Chain (DSC)* possano migliorare l'efficienza di uno o più processi, ritenuti critici per il *core business* aziendale, di una media impresa italiana, la Tecfi SpA. Dopo aver individuato le tecnologie da implementare, saranno definire le modalità di realizzazione affinché la trasformazione digitale non sia deleteria per l'organizzazione e possa essere economicamente sostenibile per una realtà industriale di medie dimensioni.

La tesi è quindi strutturata come segue: dopo aver presentato ed analizzato nel dettaglio le nove tecnologie abilitanti la *DSC* al capitolo 1, nel corso del secondo capitolo viene condotta l'analisi sistematica della letteratura dalla quale emergono le nuove prospettive del lavoro, i nuovi modelli di business e soprattutto vengono riportati alcuni esempi di implementazione delle tecnologie abilitanti la *DSC*.

Il capitolo 3 è stato invece completamente dedicato alla descrizione dell'azienda oggetto del caso studio, la Tecfi SpA, il settore dei sistemi di fissaggio, la *Supply Chain*, i mercati di riferimento e le caratteristiche strutturali ed organizzative di questa realtà manifatturiera. Dopo questa introduzione, al capitolo 4 è stato invece analizzato il processo di preparazione dell'ordine, individuato come strategicamente rilevante per incrementare l'efficienza aziendale. Questo processo è stato puntualmente descritto ed analizzato seguendo un approccio di *business process design* (Damiani, 2010) finalizzato all'individuazione delle principali criticità, per queste e per tutte le attività a supporto. Sulla base di queste criticità riscontrate, al capitolo 5 sono state descritte le tecnologie abilitanti la *DSC*, tra le quali *Cloud Computing, Big Data* e *IoT*, che possono risolvere queste inefficienze e migliorare la tracciabilità e la reattività dell'intero sistema. Dopo aver descritto l'impatto di questi strumenti *DSC* e le modalità di implementazione, sono state riportate le considerazioni fatte riguardo la possibilità e l'orizzonte temporale di adozione, sulla base di questa analisi si è proceduti ad una classificazione delle soluzioni.

Infine, al capitolo 6 sono state riportate le considerazioni finali, i benefici ottenibili dalla Tecfi SpA, le limitazioni dello studio ed i potenziali passi futuri per la ricerca.

1 DIGITAL SUPPLY CHAIN: ELEMENTI CARATTERIZZANTI E TECNOLOGIE ABILITANTI

Nel corso del seguente capitolo verranno descritti gli aspetti caratterizzanti la *Digital Supply Chain,* le tecnologie abilitanti questo nuovo paradigma industriale, lo stato dell'arte delle applicazioni, i benefici ottenuti ed i potenziali sviluppi futuri. Prima di affrontare le tematiche più specifiche di ogni singola tecnologia, sono state però trattate le dinamiche generali che hanno portato all'affermazione del nuovo concetto di Industria 4.0 ed i trend che hanno determinato il passaggio dalla tradizionale catena di fornitura alla nuova configurazione della *Digital Supply Chain*, per la quale sono state definite le nuove principali caratteristiche.

1.1 INDUSTRIA 4.0: il nuovo concetto di *Smart Factory*

L'idea di *Digital Supply Chain* è strettamente correlata al concetto di *Industry 4.0*. Il termine Industria 4.0, nella sua traduzione tedesca *Industrie 4.0*, viene utilizzato per la prima volta nel 2011 in Germania nell'ambito della presentazione del progetto di rilancio per l'industria tedesca del futuro, rappresentando così l'inizio di una nuova fase dell'evoluzione tecnologica per il mondo industriale e quindi un cambiamento rilevante per le imprese.

Uno dei primi studi su questa tematica, intitolato "*Manufacturing's next act"* (Baur, et al., 2015), è stato svolto nel 2015 da McKinsey che ha così definito l'Industry 4.0:

"*È una confluenza di tecnologie digitali dirompenti destinate a cambiare il settore manifatturiero al di là del riconoscimento: spinte dal sorprendente aumento dei volumi di dati, della potenza di calcolo e della connettività; dall'emergere di funzionalità avanzate di analisi e business intelligence; da nuove forme di interazione uomo-macchina, come le interfacce touch e i sistemi di realtà aumentata; dai miglioramenti nel trasferimento delle istruzioni digitali al mondo fisico, come nella robotica avanzata e nella stampa 3D*".

Analogamente a quanto fatto dalle precedenti rivoluzioni, la quarta rivoluzione industriale può avere un grande impatto, oltre che per i processi aziendali, anche per i flussi fisici ed informativi lungo l'intera *Supply Chain*, nonché per i prodotti e servizi offerti dalle imprese; determinando in questo modo un incremento delle performance e della *customer satisfaction.*

A partire dalla seconda metà del XVIII secolo, quando la società è passata dall'essere un sistema agricolo-artigianale-commerciale ad un sistema industriale, si sono susseguite una serie di innovazioni ed implementazioni tecnologiche che hanno permesso di trasformare il tessuto industriale mondiale. Gli storici definiscono "rivoluzioni industriali" fasi storiche successive caratterizzate da un forte aumento della produttività e da un radicale cambiamento delle tecnologie adottate nella produzione (Beltrametti, et al., 2017).

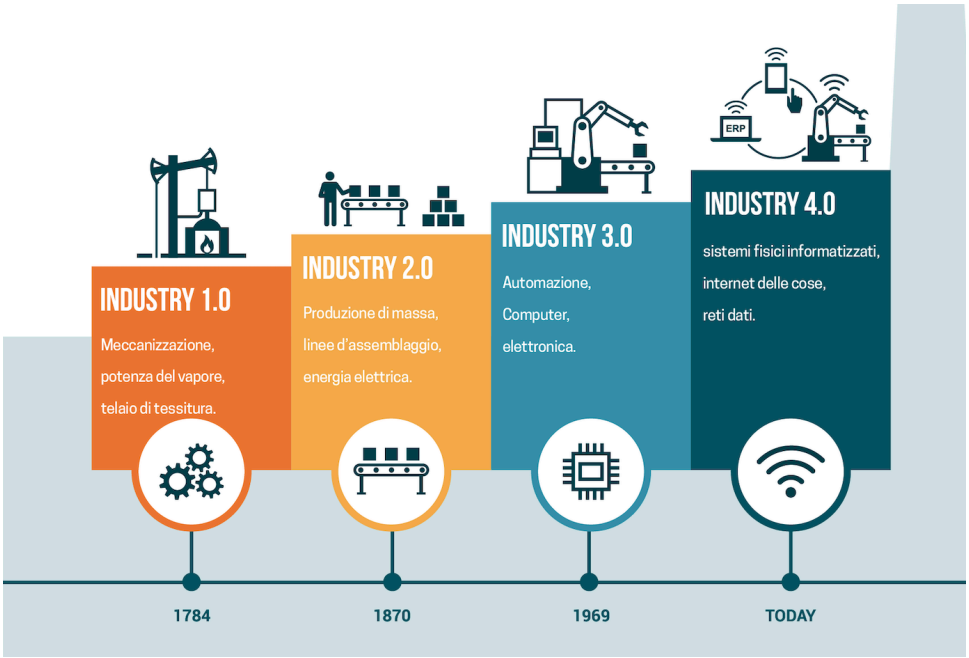


Figura 1 - Le quattro rivoluzioni industriali: le innovazioni introdotte (www.rematarlazzi.it)

La prima rivoluzione industriale, risalente alla seconda metà del '700, secondo la maggior parte degli storici è iniziata dall'Inghilterra con l'invenzione della spoletta volante di John Kay nel 1733, la quale ha permesso la tessitura automatica e di conseguenza la riduzione dei tempi di produzione. Se in Inghilterra la prima

rivoluzione industriale ha principalmente rivitalizzato il settore tessile, negli altri paesi i maggiori benefici sono stati ottenuti nel settore metallurgico ed estrattivo, sfruttando l'invenzione della macchina a vapore.
Successivamente, nel XIX secolo, l'introduzione dell'elettricità, del petrolio e dei prodotti chimici hanno dato continuità all'evoluzione tecnologica e permesso l'avvio della produzione di massa con i metodi Tayloristici, nonché la diffusione dei primi mezzi di trasporto, ha permesso di ampliare il mercato servibile, dando così vita alla seconda rivoluzione industriale. Questi anni sono quindi ricordati per la nascita delle prime catene di montaggio e la conseguente ampia diffusione delle produzioni industriali, che hanno permesso un radicale miglioramento delle condizioni di vita delle persone e reso i lavori meno usuranti. Sempre più lavoratori si trasferivano dalle campagne in città, dove le migliori condizioni sanitarie e la crescita dei salari medi hanno garantito una crescita importante dell'aspettativa di vita, aumentata di circa 40 anni dal 1900 ad oggi (Beltrametti, et al., 2017).
Durante gli anni 70 del XX secolo c'è stata un ulteriore rivoluzione industriale, la terza, meglio nota come rivoluzione digitale a causa dell'introduzione dell'elettronica e dei sistemi informativi. La diffusione massiva del computer, dei primi robot e soprattutto dei sistemi IT hanno permesso una forte automazione delle attività industriali, la diversificazione dei beni/servizi offerti ed una corretta gestione dei processi e dei flussi informativi.

Se le prime tre rivoluzioni industriali hanno determinato l'incremento della produttività, la riduzione dei costi di produzione ed il miglioramento dell'efficienza (Deloitte 2015) sfruttando l'introduzione di una tecnologia abilitante, ad es. il vapore o l'elettronica, la quarta rivoluzione industriale è considerata un significativo *upgrade* delle precedenti, poiché più che essere incentrata sull'adozione di nuovi *assets* o una tecnologia rivoluzionaria, è caratterizzata dalla creazione di *networks* capaci di connettere tra loro gli *assets* e le tecnologie preesistenti (Trappey, et al., 2017).

L'integrazione degli assets, delle tecnologie e la loro inter-operabilità, grazie anche ai sistemi Cyber-fisici (CPS) ed Internet of Things (IoT), hanno contribuito a rendere le *smart factory* flessibili alle variazioni della domanda in termini di volumi di produzione e differenziazione di prodotto; quest'ultimo è un elemento

fondamentale per la determinazione del vantaggio competitivo considerata la sempre più incidente esigenza di customizzazione del prodotto/servizio richiesta dal consumatore.

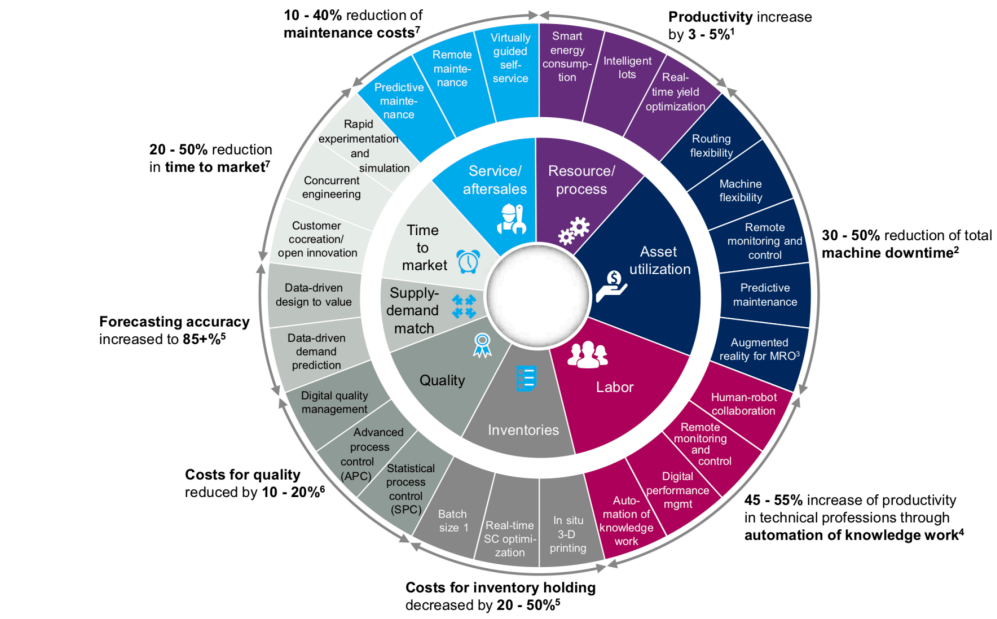
I benefici del 4.0 accrescono l'efficienza del *back-office*, oltre che del *front-office* come appena visto, in particolare modo garantiscono la gestione efficiente del magazzino, dei macchinari per la produzione e dell'intera catena di fornitura grazie ad un monitoraggio in tempo reale di tutti i beni in transito sulla *Supply Chain*.

L'interconnessione tra dispositivi e le tecnologie utilizzate nell'industria 4.0 permettono, tra l'altro, il monitoraggio del prodotto per tutta la sua vita utile, offrendo così supporto al consumatore per l'assistenza post-vendita, oltre che un ulteriore sostegno all'azienda per lo sviluppo prodotto, grazie ai feedback inviati in automatico dai dispositivi attivi ai sistemi informativi aziendali.

La connessione tra le tecnologie abilitanti e gli oggetti è resa possibile dall'utilizzo di internet, ormai affermato da anni, ma soprattutto dall'ultima generazione di sensori ed attuatori che hanno raggiunto performance importanti ed un'elevata efficienza dimensionale oltre che economica.

Questi trend tecnologici hanno quindi avviato un processo di digitalizzazione della manifattura che porta un incremento della flessibilità di produzione, dovuto ad una maggiore reattività agli input provenienti da dispositivi interni ed esterni allo stabilimento produttivo, maggiore rapidità di configurazione per le macchine, nonché la possibilità e la sostenibilità per produrre lotti dimensionalmente più piccoli e quindi la possibilità di perseguire una strategia di *mass customization*.

La flessibilità produttiva, resa sostenibile dalle tecnologie dell'Industy 4.0, genera importanti benefici anche in materia di *product innovation*, poiché la forte riduzione delle tempistiche di prototipazione e la potenza dei software di simulazione virtuale, riduce di conseguenza la progettazione e l'arrivo del prodotto sul mercato. A supporto di quanto appena detto e come è visibile dall'immagine seguente, lo studio di McKinsey, *"How to navigate digitalization of the manufacturing sector"* (Wee, et al., 2015) ha quantificato i benefici ottenibili dall'implementazione delle nuove tecnologie, evidenziando la riduzione del *time to market* dal 20 al 50%, l'ottimizzazione delle tecniche produttive determinanti la riduzione dei costi della qualità tra il 10 e il 20%, nonché un aumento della produttività grazie alla manutenzione preventiva che può ridurre i tempi di fermo macchine dal 30 al 50% e garantire la riduzione dei costi di manutenzione dal 10 al 40%.



1 Client experience
2 McKinsey analysis
3 Maintenance, repair, and operations
4 Cf. McKinsey Global Institute: Disruptive technologies
5 McKinsey analysis
6 Cf. T. Bauernhansl, M. ten Hompel, B. Vogel-Heuser (Ed.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik (2014)
7 Cf. McKinsey Global Institute: Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity

SOURCE: McKinsey

Figura 2 - I vantaggi dell'implementazione della Digital Supply Chain (www.mckinsey.com)

L'implementazione e l'integrazione di queste tecnologie 4.0, ha reso molti guasti straordinari e difficilmente prevedibili fino a pochi anni fa, facilmente controllabili e risolvibili con la manutenzione preventiva, frutto dei numerosi sensori istallati lungo la linea di produzione e la grande mole di dati generati, raccolti ed analizzati [1].

La tematica della gestione dei dati è assolutamente un punto focale dell'industry 4.0, i sistemi interconnessi generano continuamente informazioni e se la *data collection* non è un problema viste le performance raggiunte dai sistemi cyber-fisici e la diffusione di internet, la vera sfida è la *data analysis*, capire come filtrare e veicolare queste informazioni nelle giuste modalità tali da poter generare benefici non solo per l'impresa stessa, ma per tutta la *Supply Chain*. Sfruttare nella maniera corretta le informazioni raccolte vuol dire costruire un prodotto finito che incontri il più possibile le esigenze dei consumatori, poterlo migliorare continuamente, facilitare le strategie di customizzazione e differenziazione di prodotto per ottenere un'ampia diffusione ed una crescita dei consumi, determinando così il successo dell'impresa e di tutta la sua catena di fornitura.

I principali studi riguardanti la quarta rivoluzione industriale, tra i quali *"Industry 4.0: How to navigate digitalization of the manufacturing sector"* (Wee, et al., 2015), "*Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufactuiring Industries"* (Gerbert, et al., 2015)*, "Industria 4.0: Le 6 tecnologie abilitanti secondo il Politecnico di Milano"* (Lazzarin, 2016)*,* rispettivamente pubblicati da McKinsey, Boston Consulting e Politecnico di Milano, associano l'industria 4.0 al concetto di *smart factory* suddividendo le tecnologie in tre differenti cluster:

- **SMART PRODUCTION**: è l'insieme delle tecnologie riguardanti strettamente gli apparati produttivi, dove i macchinari sono connessi tra loro in un unico agglomerato con l'obiettivo di costituire il sistema più efficiente possibile. In questo gruppo sono tra l'altro incluse l'*Advanced HMI,* i *Cobot* e l'*Agumented Reality*, tecnologie capaci di semplificare e potenziare le attività svolte dall'operatore attraverso interfacce collaborative uomo-macchina e sistemi di produzione in cui cooperano efficientemente uomini ed impianti di automazione collaborativi.

- **SMART SERVICES**: raggruppa tutte le tecnologie costituenti l'infrastruttura informatica con la finalità di integrare l'intero ecosistema aziendale, cioè tutti gli attori della *Supply Chain*, dai fornitori fino ai clienti finali, oltre che le classiche strutture interne all'impresa. La sostenibilità di queste infrastrutture informative è sostenuta dai sistemi *Cloud* che permettono di ospitare e gestire gli ampi volumi di informazioni, *Big Data*, al fine di sostenere la cooperazione tra i vari attori della catena per poter garantire la *customer satisfaction.* La sicurezza di questi sistemi è garantita da tecnologie ad-hoc come la *Blockchain.*

- SMART ENERGY: quest'ultimo cluster di tecnologie riguarda la sostenibilità energetica che i sistemi manifatturieri e non solo devono garantire, fortemente sensibilizzati dalle istituzioni governative, riescono a garantire importanti vantaggi economici. Il raggiungimento di elevate performance energetiche è garantito dall'implementazioni all'interno dei macchinari delle principali innovazioni tecnologiche, come i sistemi *Cyber-Physical-Systems (CPS)*, l'intelligenza artificiale e l'Internet of Things (*IoT)* capaci di analizzare e migliorare i rendimenti attuali e potenziali in tempo reale.

1.2 DIGITAL SUPPLY CHAIN

In questo paragrafo, dopo aver introdotto l'idea generale di *Supply Chain*, verranno approfondite le dinamiche determinanti il passaggio alla *Smart Supply Chain*.
L'implementazione delle tecnologie abilitanti l'Industria 4.0 sta trasformando le tradizionali *Supply Chain* in *Smart Supply Chain*, quindi sempre più oggetti sono equipaggiati di sensori ed attuatori, che per questo garantiscono una gestione *lean* e generano vantaggi in un'ottica di riduzione dei costi e incremento dell'efficienza aziendale.

Secondo la visione tradizionale, la *Supply Chain* può essere definita come *un insieme selezionato, duraturo di entità autonome e indipendenti sotto il profilo proprietario, accomunate dall'operare insieme attraverso l'integrazione di alcuni processi aziendali affinché sia possibile rendere disponibili i prodotti, i servizi e le informazioni che aggiungono valore per i clienti, a partire dai consumatori finali risalendo fino ai produttori di materie prime* (Pinna, 2006).

A partire da questa definizione, possono essere definite le caratteristiche fondamentali della *Supply Chain*:

- È una rete di imprese;
- Ogni nodo è un'entità autonoma che svolge le attività in maniera integrata in un disegno strategico unitario;
- L'obiettivo comune è la creazione del maggior valore possibile per il consumatore finale;

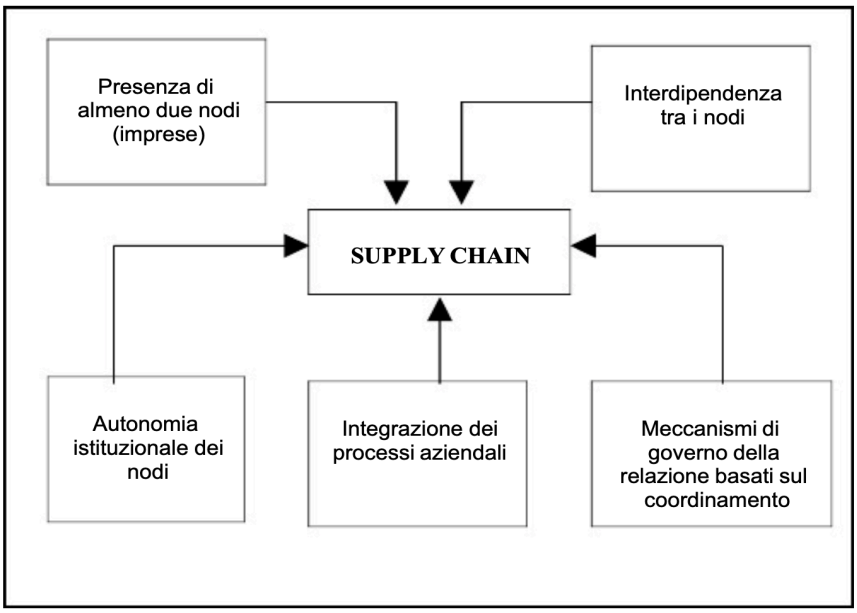


Figura 3 - Caratteristiche Supply Chain tradizionale (R.Pinna, 2006)

La catena di fornitura è costituita da almeno 2 entità indipendenti che coinvolte nella gestione di flussi di prodotti, servizi, denaro e/o informazioni, hanno l'obiettivo di interagire e collaborare per consegnare il prodotto desiderato al cliente finale riducendo al minimo le inefficienze, evitando quindi di svolgere attività inutili, doppie e senza valore aggiunto. La soddisfazione del cliente finale deve rappresentare il fine ultimo verso cui tutti gli attori della catena devono indirizzare i propri sforzi. Il cliente e la soddisfazione delle sue aspettative rappresentano sia l'innesco dei processi di scambio e di interazione tra gli attori della catena, sia il risultato per il quale tali processi si sviluppano e per i quali gli attori agiscono e interagiscono (Tunisini, 2003). Il valore creato dall'intera *Supply Chain* non è equamente distribuito tra tutti gli attori, ma ogni singola impresa compete per cercare di appropriarsi la maggiore fetta, misurata dagli utili generati.

Un aspetto intrinseco alla definizione di *Supply Chain* è il concetto di integrazione, elemento fondamentale per la creazione del valore, che fa riferimento alla qualità delle collaborazioni e all'integrazione strategica dei processi intra e inter-organici (Flynn et al., 2010), misurando fino a che punto i partner della S*upply Chain* collaborano per ottenere benefici reciprocamente vantaggiosi (O'Learly-Kelly, et al., 2002); più che al concetto di integrazione verticale di Porter che riguarda il numero di attività e trasformazioni svolte internamente all'impresa. Quando i rapporti tra partner "confinanti" di una *Supply Chain* non sono forti e strutturati,

l'intera catena non riuscirà ad essere competitiva (Huang, et al., 2014). Guardando la seguente figura, più è ampio il processo interno, più l'impresa è integrata verticalmente secondo Porter e meno lunga è la S*upply Chain*.

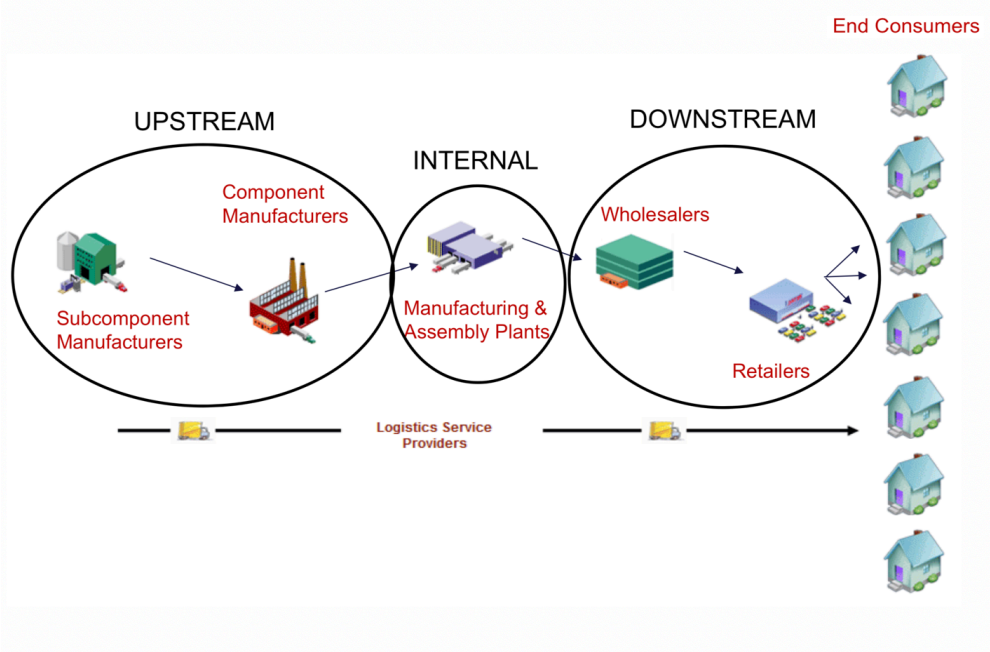


Figura 4 - Struttura Supply Chain (www.pitt.edu)

Attualmente, le catene di fornitura stanno subendo un processo di disintegrazione verticale sempre più importante, poiché la globalizzazione, l'utilizzo di internet e le nuove tecnologie hanno ridotto notevolmente i costi di transazione ed i problemi di delocalizzazione, aumentato il livello di specializzazione, il monitoraggio dei processi in remoto e la necessità di essere reattivi ai cambiamenti del mercato; di conseguenza è aumentato anche il livello di integrazione ed il coordinamento dell'intera *Supply Chain*.

Ad oggi risulta molto vantaggioso per un'impresa svolgere al suo interno esclusivamente il proprio *core business*, le attività per le quali è specializzata, per poter garantire un incremento della qualità del prodotto finito ed un abbattimento dei costi dovuto al raggiungimento delle economie di scala e di specializzazione; ad esempio, considerando l'offerta di servizi logistici, se fino a qualche anno fa si sentiva parlare unicamente di Logistic Service Provider (LSP) cioè i fornitori dei trasporti logistici, oggi si parla anche di Third Party Logistics (3PL) cioè i fornitori di servizi di attività integrate come la ricezione, lo stoccaggio e la preparazione

dell'ordine e addirittura del Fourth Party Logistics (4PL) che riguarda la gestione in outsourcing dell'intero processo logistico (Holmström, et al., 2014).

Ricordiamo che l'intera *Supply Chain*, come possiamo vedere dalla seguente immagine, è composta dalle seguenti categorie:

- Clienti finali
- Dettaglianti
- Grossisti
- Distributori
- Produttori
- Fornitori di componenti
- Fornitori di materie prime
- Trasportatori e fornitori di servizi logistici

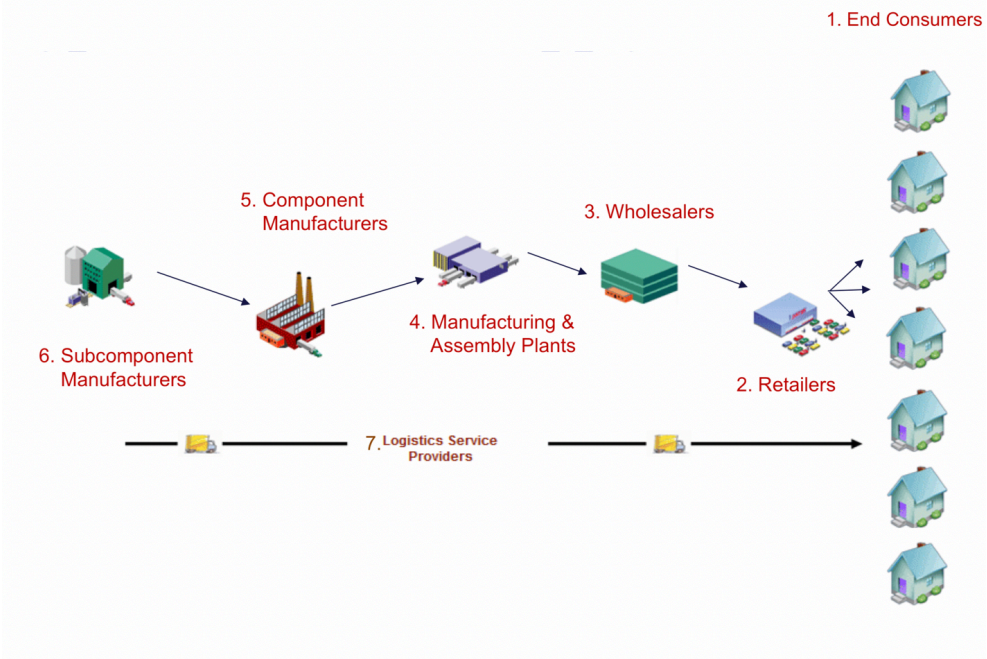


Figura 5 - Attori costituenti la Supply Chain (www.pitt.edu)

Con il passare degli anni le catene di fornitura sono diventate sempre più complesse strutturalmente, ma allo stesso tempo sempre più importanti per la creazione del valore; proprio per questo motivo all'inizio degli anni '90 nasce la *Supply Chain Management* che ha l'obiettivo di "*avere il giusto articolo nella giusta quantità nel*

momento giusto nel posto giusto per il giusto prezzo nelle giuste condizioni al cliente giusto" (Seo, et al., 2014).

A causa della complessità, dell'incertezza ed altri fattori coinvolti, molte S*upply Chain* sono note per il *mismatch* esistente tra domanda ed offerta che causano problemi di overstocking, stockout e ritardi di consegna (Wong et al., 2012). Tali problematiche sono causate ed amplificate da una serie di motivazioni, tra le più importanti: la globalizzazione dei mercati, la saturazione della domanda, la crescente pressione competitiva, la diminuzione dei lead time di consegna, l'aumento delle informazioni da gestire.
Oltre le criticità appena citate, c'è da considerare che se fino a qualche anno fa è stata registrata una tendenza allo spostamento dell'attenzione dal cliente intermedio al consumatore finale, oggi c'è bisogno di concentrarsi sulle esigenze di customizzazione del singolo cliente per poter offrire un prodotto/servizio appetibile per il mercato.
Quindi è fondamentare adattare la S*upply Chain* alle nuove esigenze del mercato, per questo è stata introdotta la Smart *Supply Chain* che secondo IBM deve essere: equipaggiata (di sensori, attuatori ed altri dispositivi simili), interconnessa ed intelligente (Butner, 2010),oltre ad essere automatizzata, integrata ed innovativa (Wu, et al., 2016).
La nuova configurazione della catena di fornitura è stata definita *Smart Supply Chain(SSC)*, dove dalla traduzione del termine *smart* si possono comprendere le caratteristiche necessarie per le nuove catene di fornitura che devono essere intelligenti, veloci, abili, efficienti, acute, integrate e connesse.

La *Smart Supply Chain* deve quindi garantire maggiore efficienza, riduzione dei tempi di progettazione, di produzione, di consegna, di reazione ai cambiamenti della domanda; oltre che una maggiore customizzazione dei processi, dei componenti e del prodotto finito. La necessità di essere reattivi ai cambiamenti lungo tutta la catena porta ad un incremento della quantità di informazioni da gestire e della qualità delle analisi da effettuare, le quali possono garantire un migliore supporto decisionale, processi più efficienti e quindi prodotti con maggiore valore aggiunto per il consumatore.

Una gestione del flusso informativo condivisa ed integrata lungo tutta la *Supply Chain* è necessaria per una gestione *lean* del magazzino, proiettata verso la logica delle "Zero scorte" (Burgess, et al., 2006) data la volatilità dei gusti del consumatore, oltre che per evitare il *Bullwhip Effect* e tutti i fenomeni distorsivi che causano la mancanza di coordinamento tra i vari attori della catena.

Dove mancano le relazioni strette tra i partner della S*upply Chain*, le organizzazioni non competono più con profitto (Huang, et al., 2014).

Quindi, considerati gli obiettivi, la *Smart Supply Chain Management* deve concentrarsi e sviluppare i seguenti ambiti (Wu, et al., 2016):

- **Gestione delle informazioni lungo la *Supply Chain***, ad esempio la visibilità delle informazioni sulla domanda, nell'attuale contesto *demand-driven*, può ridurre il *lead time*, ridurre i costi associati, migliorare la reattività e migliorare il processo decisionale (Handfield, et al., 2002);
- **Sistemi IT**; l'implementazione di questi sistemi IT ed IoT permettono una corretta gestione del flusso informativo lungo tutta la *Supply Chain* andando ad eliminare le inefficienze dovute alla mancanza di coordinamento.
- **Automatizzazione dei processi**, all'interno di un contesto che necessita di reattività, velocità ed efficienza, anche i processi produttivi devono tenere il ritmo. L'automatizzazione dei processi, la distribuzione automatica di informazioni chiave portano ad un risparmio di tempo e risorse all'interno di un settore per centinaia di miliardi (Savitz, 2013).
- **Elaborazione avanzata dei *data*** poichè, ad oggi, vista la grande mole di informazioni da controllare, lo sviluppo di un algoritmo di analisi con un buon rendimento è fonte di vantaggio competitivo per il proprio business.
- **Integrazione ed innovazione dei processi** dall'acquisto alla distribuzione, passando per la manifattura e la logistica, che combinati ad una continua e coerente condivisione delle informazioni tra i vari livelli della catena, riescono a soddisfare le esigenze dei clienti a costi contenuti, migliorando così le performance della *Supply Chain* (Kumar, et al., 2012).

In conclusione, per le *Smart Supply Chain*, l'integrazione dei sistemi IT, l'analisi avanzata dei *data* e automazione dei processi, offre un'opportunità senza precedenti per massimizzare il surplus della catena di approvvigionamento e di conseguenza per le imprese che ne fanno parte (Wu, et al., 2016).

1.3 TECNOLOGIE ALLA BASE DELLA *DIGITAL SUPPLY CHAIN*

Dopo aver descritto le dinamiche che hanno stravolto il paradigma industriale, da questo momento saranno analizzate gli strumenti tecnologici che hanno permesso il passaggio alla *Digital Supply Chain*. Come anticipato nella parte introduttiva del capitolo, la quarta rivoluzione industriale, a differenza delle precedenti, non è caratterizzata da un'unica tecnologia abilitante bensì da un *bundle* di tecnologie.

Il report *Industria 4.0: le 6 tecnologie abilitanti secondo il Politecnico di Milano*, dell'Osservatorio Smart Manufacturing dell' ateneo milanese, definisce lo *Smart Manufacturing* o Industria 4.0 come "*l'adozione congiunta di tecnologie digitali capaci di aumentare l'interconnessione e cooperazione delle risorse (asset fisici, persone e informazioni) usate nei processi operativi, sia interne alla fabbrica sia distribuite lungo la value chain*" (Lazzarin, 2016).
Secondo questo studio dell'ateneo milanese, le tecnologie alla base della quarta rivoluzione industriale sono sei e sono divisibili in due grandi insiemi uno più vicino all'*IT* con l'*Internet of things, Big Data* e *Cloud*; mentre l'altro maggiormente legato all'operatività e quindi comprende *Advanced Automation, Advanced HMI (Human Machine Interface)* ed *Additive Manufacturing*. A queste vanno però aggiunte, secondo McKinsey (Wee, et al., 2015), altre tre tecnologie: *Cyber-Physical-Systems (CPS), Blockchain* e *Augmented Reality*.

Quindi le tecnologie che saranno analizzate sono:

- *Cyber-Physical-Systems (CPS)*
- *Internet of things (IoT)*
- *Big Data Analytics*
- *Cloud Computing*
- *Blockchain*
- *Additive Manufacturing*
- *Advanced Automation*
- *Advanced HMI (Human - Machine Interface)*
- *Augmented Reality*

1.3.1 Cyber-Physical-Systems (CPS)

I Cyber-Physical-Systems sono tra le tecnologie alla base della quarta rivoluzione industriale e per questo motivo fanno parte delle Key Enabling Technology (KET) (Boschi, et al., 2017).

Il concetto di CPS è stato introdotto nel 2006 ed è stato definito "un sistema composto da entità collaborative, dotato di capacità di calcolo e attori di una connessione intensiva con il mondo fisico ed i fenomeni circostanti, usando e fornendo tutti i servizi di trattamento e comunicazione dei dati disponibili sulla rete" (Lee, 2006).

Dalla definizione può sembrare molto complesso il concetto di *CPS*, ma non lo è facendo una piccola digressione; poiché nel panorama dell'Industria 4.0 un macchinario, o una qualsiasi entità fisica non umana, ha un'immagine virtuale oltre che una fisica. La componente virtuale si trova all'interno del mondo IT e sulla base delle informazioni virtuali inviate tra dispositivi fisici, questi sono in grado di elaborare l'informazione e prendere una decisione. È quindi facilmente intuibile perché questi sistemi si chiamino cyber-fisici, per ogni componente fisico esiste un gemello digitale (*Digital Twin*) (Boschi, et al., 2017). Un esempio può essere il seguente: un macchinario componente di una linea di produzione percepisce l'usura di un utensile, la sua componente virtuale invia un allarme ad una macchina

computazionale decentrata come può essere un normale computer, il quale blocca la linea produttiva e segnala la necessità di manutenzione preventiva, evitando così maggiori danni alla macchina stessa ed alla qualità del prodotto finito.
Le capacità computazionali, di controllo e di comunicazione di questi sistemi sono dovute a tre tecnologie (Boschi, et al., 2017) :

- **Sensori** integrati nei dispositivi fisici hanno il compito di rilevare continuamente informazioni riguardanti l'ambiente di controllo (può essere lo stato, la posizione, la tipologia di un oggetto).

- **Attuatori**, svolgono azioni, cioè mettono in pratica le modifiche correttive elaborate per migliorare o ottimizzare un processo.

- **Intelligenza decentrata** ha il ruolo di elaborare la decisione sulla base delle informazioni ottenute dai sensori ed altri CPS. Ha inoltre la capacità di contattare parallelamente altri CPS chiedendo di mettere in atto altre azioni correttive.

Il grande valore aggiunto apportato dai sistemi CPS è la capacità di prendere decisioni e mettere in atto azioni correttive rapidamente ed in parallelo, ottimizzando il tradizionale processo gerarchico-verticale che prevedeva la rilevazione dello stato del processo da parte dei sensori, la comunicazione all'unità centrale di controllo, l'osservazione dello stato reale del processo, l'analisi del problema, l'elaborazione della decisione ed infine l'intervento correttivo manuale oppure attraverso un attuatore (Amberg, 2015).

Le funzionalità garantite dalle architetture CPS sono sintetizzabili secondo la struttura delle 5C (Lee, et al., 2014):

1. **Smart Connection:** capacità di gestire e acquisire dati resi disponibili in real-time, grazie a sensori intelligenti o attraverso sistemi informatici di produzione aziendale (ad es. ERP e MES), e di trasferirli con specifici protocolli di comunicazione;

2. **Data-to-information Conversion:** capacità di aggregare i dati di ogni macchina e di convertirli in informazioni a valore aggiunto;

3. **Cyber:** è l'*hub* centrale di questa architettura, dove si vanno ad aggregare tutte le informazioni provenienti dalle macchine, permettendo ad ognuna di queste di autoconfrontarsi sulla base delle serie storiche;

4. **Cognition:** capacità di identificare diversi scenari e di supportare un corretto processo decisionale;

5. **Configuration:** capacità di fornire feedback alla realtà fisica da quella virtuale e di applicare le azioni correttive prese al livello precedente.

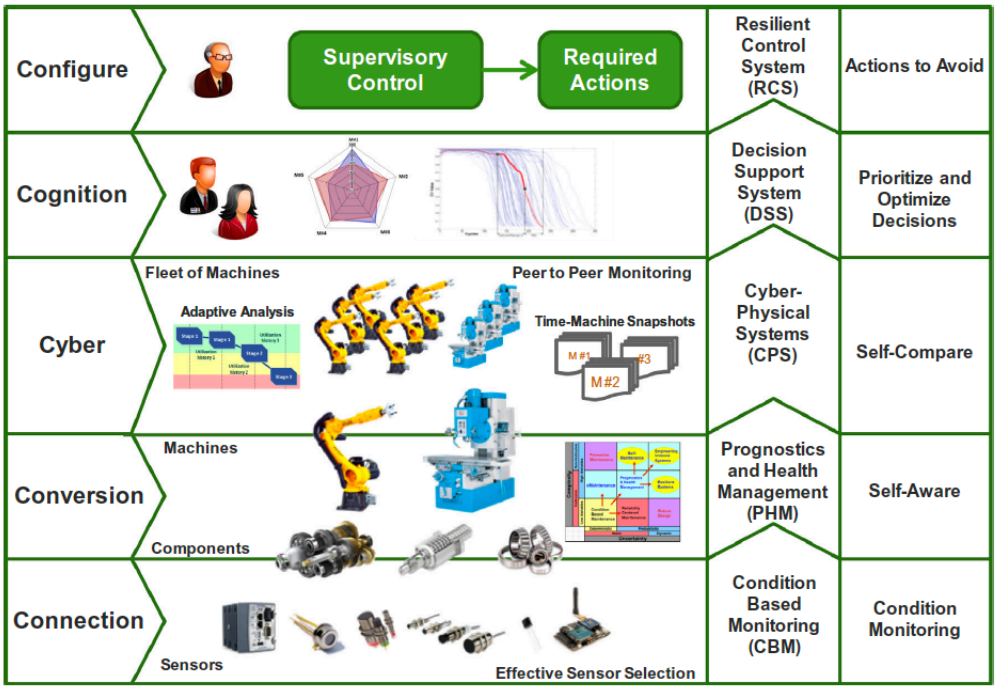


Figura 6 - Tecniche ed applicazioni associate ad ogni livello dell'architettura 5C (Lee, et al., 2014)

1.3.2 Internet of Things (IoT)

Il mondo di Internet è completamente dipendente dall'uomo, poiché i dati che esso contiene sono stati inseriti dall'uomo stesso scattando foto, scansionando codici a barra, facendo dei report; ma la natura dell'essere umano non gli permette di immagazzinare ed ordinare dati riguardo le ordinarie dinamiche del mondo reale con la giusta accuratezza e precisione.
Se avessimo computer in continuo e costante controllo dell'intero ecosistema, usando i dati raccolti e senza necessitare di alcun aiuto da parte dell'uomo, saremmo in grado di tracciare e tenere conto di ogni cosa, riducendo così notevolmente sprechi, perdite e costi. Sapremmo quando le cose devono essere sostituite, riparate o richiamate, e se sono nuove o obsolete (Ashton, 2009).

Il concetto di IoT, in italiano Internet delle cose, è stato introdotto per la prima volta da Kevin Ashton (cofondatore del consorzio di ricerca Auto-ID Center, con sede al Massachusetts Institute of Technology) nel corso di una presentazione presso Procter&Gamble di un suo studio, nel 1999.
Secondo lo studioso americano quindi, così come Internet ha cambiato il mondo nelle attività quotidiane del singolo individuo, oltre che stravolto l'ambito professionale, l'Internet of Things ha il potenziale per farlo addirittura in misura maggiore (Ashton, 2009).

È molto complesso definire univocamente il concetto di IoT, ma in sostanza, se la rete di internet nasce per mettere in comunicazione le persone attraverso il computer, grazie all'incremento delle performance computazionali di questi dispositivi, internet può connettere tra loro i macchinari permettendogli di scambiarsi informazioni mediante input elettrici, dando così vita all'Internet delle cose (Beltrametti, et al., 2017).

I dispositivi in commercio fino a qualche hanno fa potevano essere connessi o intelligenti, ma non entrambe le cose. Esistevano quindi dispositivi progettati per trasferire informazioni all'interno di un network, senza alcuna capacità di elaborazione, ed altri dispositivi dotati di intelligenza interna e quindi capacità di analisi, ma non in grado di trasferire dati al di fuori del loro circuito chiuso.

Il passaggio dalla "sensoristica semplice", dispositivi in grado di fare *data collection* con elevate prestazioni, all'Internet of Things è stato dovuto alla connessione in rete; ma prima di arrivare all'IoT così come è inteso oggi, si sono susseguite una serie di fasi (Bellini, 2018):

1. Dispositivi – connessi in rete – in grado di rilevare dati e in grado di comunicare i dati;
2. Dispositivi – connessi in rete – in grado di rilevare più tipologie di dati e di trasferire questi dati;
3. Dispositivi – connessi in rete – in grado di effettuare un primissimo livello di elaborazione e selezione dei dati a livello locale per trasferire solo i dati che corrispondono a determinati requisiti;
4. Dispositivi – connessi in rete – in grado di raccogliere dati, effettuare un primo livello di selezione e di effettuare azioni in funzione di indicazioni ricevute;
5. Dispositivi – connessi in rete – in grado di rilevare dati, di selezionarli, di trasmettere solo quelli necessari ai progetti nel quale sono coinvolti, di effettuare azioni sulla base delle indicazioni ricevute e sulla base di una capacità elaborativa locale.

L'IoT, grazie alle performance raggiunte dai *devices*, dai sistemi di immagazzinamento dei dati, dalla solidità degli algoritmi, oltre che la diffusione capillare di internet, ha oggi la giusta attitudine per poter creare un'infrastruttura di rete, efficiente ed intelligente, capace di connettere sistemi virtuali ed oggetti fisici (Trappey, et al., 2017). Questa tecnologia è spesso schematizzata attraverso una struttura su tre livelli, introdotta dalla ricerca di (Domingo, 2012) e che vediamo di seguito rappresentata:

Tabella 1 - Struttura IoT (Domingo, 2012)

Layers	Technologies and applications
Perception	2D-barcode, circuits, sensors, actuators, controllers, RFID tags, imaging, mobile communication, terminals, EDI
Network	Device modeling, security, Wi-Fi, ethernet, gateway control, GSM, UMTS, LTE, LTE-A, Hadoop, OS, USB, NFC, HTTP, FTP, DDS, bluetooth, cloud, database, WSN
Application	Tracking, diagnosis, navigation, home, health care, retail, logistics, supply chain, manufacture, transportation

- Il livello percettivo è costituito dai dispositivi fisici come sensori ed etichette RFID che hanno il compito di raccogliere *data;*
- Il *network* è considerato il cervello dell'IoT (Wu et al., 2010), forma la rete di connessione che permette il regolare passaggio del flusso di informazioni dal livello percettivo fino all'implementazione delle decisioni, passando per fase analitica dei dati raccolti;
- Le applicazioni sono invece l'implementazione pratica delle soluzioni elaborate e gli ambiti applicativi.

Le applicazioni dell'IoT sono davvero molteplici, per questo li possiamo dividere in due *cluster*; le applicazioni Consumer e quelle Industrial.

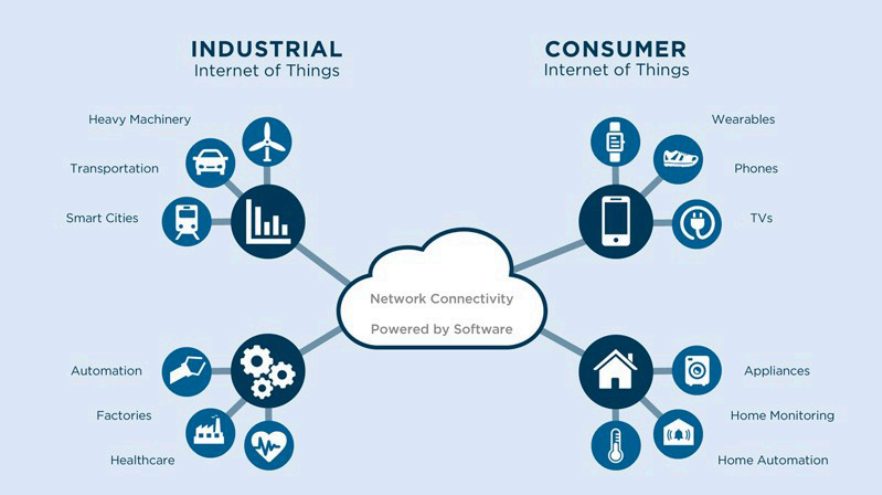


Figura 7 - Principali applicazioni IoT (www.isipc.it)

Le prime, più note all'opinione pubblica, sono di supporto alle attività quotidiane come gli smart watch che possono ad esempio ricordare un appuntamento in programma, indicare la strada più veloce per arrivarci ed infine controllare, grazie alla geolocalizzazione, se è arrivato nel luogo dell'appuntamento e confermare così il completamento dell'attività; oppure i frigoriferi intelligenti in grado di segnalare la scadenza dei prodotti e riordinare in automatico alimenti in esaurimento; o ancora i sistemi strutturanti la domotica capaci ad esempio di gestire l'illuminazione di ambiente ed i sistemi di riscaldamento adattandosi in automatico alle condizioni dell'ambiente esterno.

Le tecnologie IoT industrial possono invece essere strettamente legate agli impianti produttivi e quindi parliamo di *smart manufacturing,* oppure a dinamiche sociali di

efficienza come le *smart cities* dove una tra tecnologie implementate per l'ottimizzazione dei trasporti può essere il semaforo intelligente, già istallato in Svizzera, che diventa verde quando una macchina si avvicina e dall'altra parte dell'incrocio non ne sopraggiunge un'altra.

Quando Ashton ha parlato per la prima volta dell'IoT, aveva considerato la possibilità di utilizzare la tecnologia RFID (radio-frequency identification) per poter tracciare i prodotti P&G lungo tutta la *Supply Chain*; al tempo questa tecnologia, oltre che poco conosciuta, non poteva garantire i vantaggi ottenibili oggi dato che non era integrabile con i sistemi informativi aziendali e con le altre tecnologie come CPS e Cloud manufacturing (CM).

La difficoltà nel definire l'IoT è dovuta proprio al fatto che questa tecnologia è a sua volta costituita da un insieme collaborativo di più tecnologie e per questo gli studiosi Lee e Lee, nel 2015, hanno definito le cinque tecnologie chiave per l'implementazione di un network IoT (Lee, et al., 2015):

1. ***Radio-frequency identification (RFID)***: consente di identificare, tracciare e trasmettere informazioni.

2. ***Wireless sensor networks (WSN)****:* È una rete composta da un set di sensori per monitorare e tracciare lo stato di diversi dispositivi come la loro posizione, i movimenti o la temperatura.

3. ***Middleware***: è un livello software che consente agli sviluppatori la possibilità di comunicare con dispositivi eterogenei come sensori, attuatori o etichette RFID.

4. ***Cloud Computing***: Si tratta di una piattaforma informatica su Internet in cui possono condividere e accedere a richiesta diverse risorse informatiche (computer, reti, storage, software, ecc.). Il *Cloud Computing* è fondamentale per l'implementazione IoT a causa della necessità di gestire ed analizzare un grande mole di dati generati dai dispositivi IoT, al fine di garantire un processo decisionale rapido ed efficiente (Lee, et al., 2015).

5. ***Applicazioni IoT***: consentono le interazioni tra dispositivo e dispositivo e tra l'uomo e il dispositivo. Le applicazioni IoT costituiscono l'interfaccia tra l'utente e i dispositivi. Dovrebbero essere in grado di presentare i dati in modo intuitivo, identificare i problemi e suggerire soluzioni (Lee, et al., 2015).

L'implementazione delle tecnologie IoT, nonostante le applicazioni per la *Supply Chain* siano ancora allo stato embrionale, possono essere di grande supporto per la Smart Supply Chain Management (SSCM) poiché, oltre che garantire la tracciabilità dei prodotti lungo tutta la catena del valore, monitoraggio real time degli inventari, la riduzione degli sprechi; permette alle imprese di reagire rapidamente ai cambiamenti interni ed esterni, migliora il coordinamento operativo con gli attori a monte e a valle, oltre che generare importanti benefici per l'intera rete logistica (Ben-Daya, et al., 2017).

1.3.3 Big Data e Big Data Analytics

Nel corso del capitolo è stata sottolineata a più riprese l'importanza del flusso informativo lungo l'intera *Supply Chain*, ma soprattutto il valore creato da un'efficiente *data analysis*. La *Digital Supply Chain* è caratterizzata da importanti volumi di dati generati dai dispositivi *IoT* connessi al sistema produttivo, dai sistemi *IT* per la gestione del magazzino, per il processo logistico e per i flussi produttivi, oltre che tutte le informazioni provenienti dall'esterno e funzionali alla previsione della domanda e dei *trend* del mercato. È quindi imprescindibile, nell'ottica di un'analisi predittiva, raccogliere, filtrare, analizzare e sfruttare tutte le informazioni al fine di determinare modelli comportamentali per l'ottimizzazione dei processi e quindi massimizzare la *value creation*.

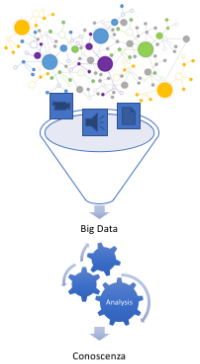


Figura 8 - L'estrapolazione del valore intrinseco ai Big Data (www.wikimedia.org)

I *data* possono quindi essere considerati un vero e proprio *asset* per l'impresa (Ylijoki, et al., 2018) e sulla base di questo, al fine di costituire un vantaggio competitivo, c'è bisogno di sviluppare delle risorse e delle capacità, coerentemente alla *resource-based view* (Wernerfelt, 1984). Secondo questa logica un'impresa ha bisogno di *hardware* dimensionati ai volumi di dati da gestire (risorsa tangibile), sviluppare algoritmi analitici (risorsa intangibile) e determinare una cultura aziendale orientata alla raccolta e all'analisi dei dati (capacità organizzativa) (Ylijoki, et al., 2018).

Il concetto di Big Data è stato introdotto per la prima volta negli anni '90 da Michael Cox che lo ha così definito: "una raccolta di dati digitali le cui dimensioni e la cui complessità sono tali da necessitare di strumenti di gestione diversi da quelli usati per le normali banche dati, al fine di garantire analisi accurate ed interrogazioni sufficientemente veloci"(Cox, 1997).
In seguito il NIST (National Institute of Standard and Technology) ha fornito un'ulteriore definizione di Big Data: "un'ampia quantità di *dataset* caratterizzati dai seguenti attributi di volume, varietà, variabilità e velocità di acquisizione che richiede un'architettura scalabile per garantire un'efficiente immagazzinamento, analisi e manipolazione di questi." (NIST, 2015).

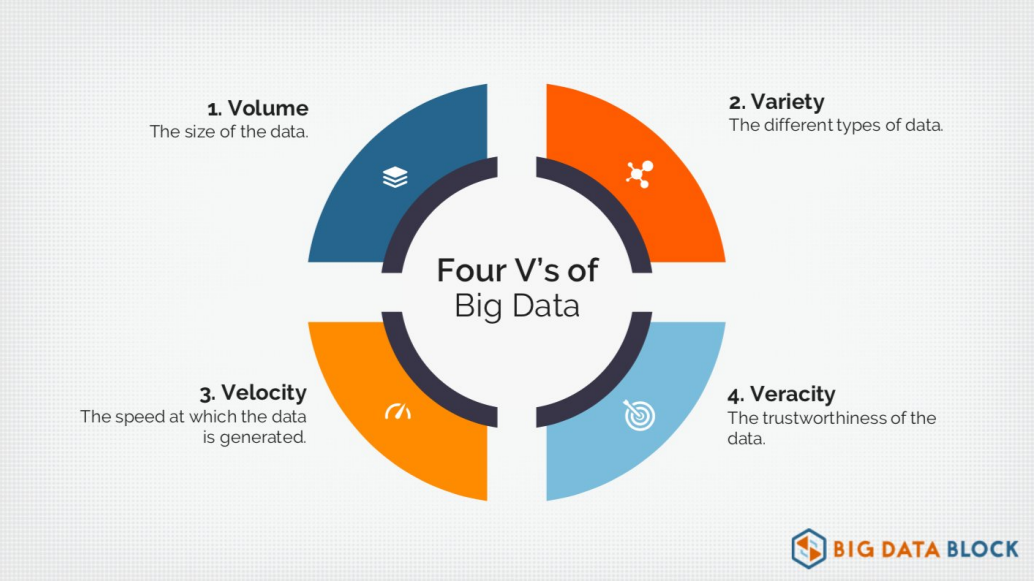


Figura 9 - Le 4V dei Big Data (www.bigdatablock.com)

Sulla base della definizione fornita dal NIST sono state definite le 4V caratterizzanti i Big Data (Abaker, et al., 2014):

1. **Volume**: la mole di dati generata, come sottolineato più volte è sicuramente la prima caratteristica dei Big Data.

2. **Varietà**: i Big Data possono essere omogenei (strutturati) o eterogenei (non strutturati) e la loro variabilità dipende dalla loro provenienza. Se i dati sono strutturati, sono facilmente memorizzabili in tabelle e database, mentre se sono non strutturati sono complessi da gestire ed immagazzinare. I dati strutturati, o omogenei, provengono principalmente dagli ERP e dai sistemi informativi aziendali; i dati non strutturati, o eterogenei, vengono generati dai dispositivi IoT, dai log delle macchine, dai log dei server, ecc.

3. **Velocità**: questa caratteristica è riferita al fatto che i dati arrivano molto velocemente e quindi vanno immediatamente immagazzinati ed inoltre vanno velocemente "tradotti" ed elaborati al fine di renderle informazioni di valore, quindi una maggiore velocità di analisi del dato si traduce nel maggiore valore creato.

4. **Veridicità**: quest'aspetto può sembrare banale ma non lo è, poiché i vantaggi ottenibili da una corretta gestione dei Big Data è subordinata alla qualità dei dati raccolti. La *Data analysis* può anche essere perfetta, ma se i dati di partenza non sono affidabili, il valore creato è nullo.

A queste, possono poi essere aggiunte ulteriori due V (Morfino, 2017):

5. **Valore**: è facilmente intuibile, come già specificato a più riprese, una corretta gestione dei Big Data crea un grande valore per l'impresa.

6. **Vulnerabilità**: considerato il valore assunto da questi dati e la loro importanza per la costruzione del vantaggio competitivo per le attuali *Supply Chain*, la protezione di questi dati è un elemento critico. Un eventuale furto di dati dai

database aziendali non vorrebbe dire solo aver perso informazioni utili all'impresa, ma significherebbe soprattutto perdere la fiducia degli *stakeholder* che avevano affidato all'impresa dati più o meno sensibili.

I grandi volumi di Dati creano un problema di immagazzinamento, tanto è vero che è praticamente impossibile conservare tutte queste informazioni all'interno di *database* aziendali e per questo bisogna ricorrere alla tecnologia del *Cloud Computing*, tematica che sarà affrontata nel paragrafo 1.3.4.

Prima di concludere il discorso sui Big Data bisogna riaffrontare la tematica riguardante la gestione e lo sfruttamento di questo flusso continuo di dati, alle quali le imprese devono far fronte. La *Data analytics* è il processo di analisi dei dati che inizia dopo la **raccolta**, fase in cui i dati vengono semplicemente collezionati ed immagazzinati, e la **preparazione**, dove i dati archiviati vengono filtrati, ripuliti ed organizzati; e che precede l'**azione**, il momento in cui l'informazione estrapolata dai dati esplicita il proprio valore e fornisce il giusto supporto decisionale.
La *Data analytics* è sicuramente la parte più complessa da gestire, è il fulcro, il momento in cui bisogna scoprire strutture e correlazioni intrinseche ai *data* attraverso il più efficiente algoritmo di elaborazione, il quale permette di ottenere dai grandi volumi di dati originari l'informazione latente, potenziale fonte di vantaggio competitivo. Sviluppare importanti capacità analitiche vuol dire trasformare informazioni in conoscenza (Ylijoki, et al., 2018).
In quest'ottica di supporto decisionale per l'ottimizzazione interna dei processi aziendali, oppure per la comprensione dei bisogni latenti dei consumatori, un'efficiente gestione dei dati può suggerire le azioni correttive da implementare, per risolvere le inefficienze di un macchinario o di una fase di lavorazione, fornire indicazioni di valore riguardo la progettazione o lo sviluppo di un prodotto o servizio, garantendo un vantaggio competitivo in termini di previsione della domanda o ancora un supporto per la risoluzione di un inefficienza, quindi una riduzione di costi.

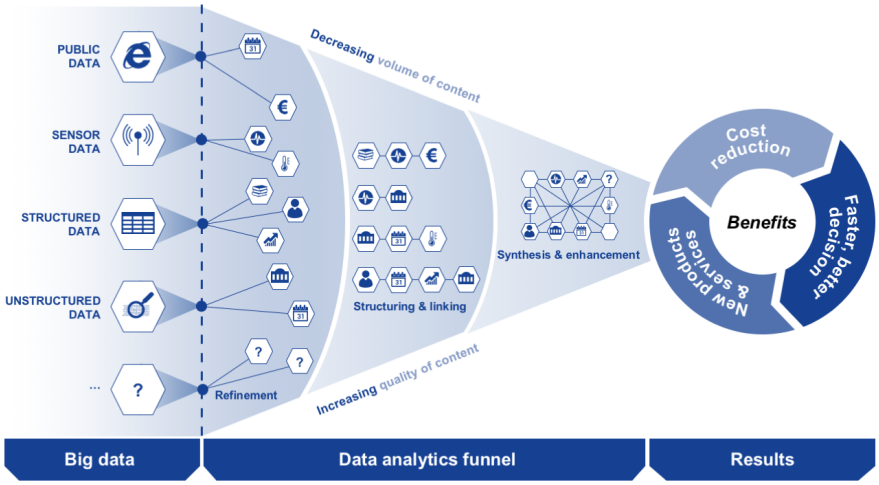


Figura 10 - Dai Data raccolti ai benefici ottenuti (www.upgrad.com)

In conclusione possiamo quindi dire che, le tecnologie dei *Big Data*, combinati con la previsione della domanda, la valutazione dei fornitori, l'*IoT*, il *Cloud Computing*, possono favorire l'ottimizzazione dei processi operativi, il risparmio dei costi, la *customer satisfaction* (monitorabile real time) e la riduzione del gap tra *Demand Chain* e *Supply Chain.* (Raman, et al., 2018).

1.3.4 Cloud Computing

È ormai noto che le informazioni ed i dati sono i pilastri fondamentali della quarta rivoluzione industriale e quindi della *smart factory.* Abbiamo visto fino ad ora come questi dati siano generati, dai sistemi CPS ed IoT, e come devono essere lavorati al fine di creare valore, data analysis. In questo paragrafo invece, affronteremo la tematica dell'archiviazione di questi grossi volumi di dati.

Il computer e le altre tecnologie a supporto, come le CPU (unità di elaborazione), la RAM fisse o mobili, memorie interne o esterne, oltre che unità USB e CD/DVD, hanno la capacità di elaborare, archiviare e recuperare dati; se più computer sono collegati ad una stessa rete locale (LAN) o geografica (WAN) hanno la possibilità di condividere i dati e quindi ampliare le capacità di elaborazione ed archiviazione di questi dati.

Se fino a qualche anno fa le reti di computer ed i *data center* aziendali riuscivano a gestire l'intero processo informatico, oggi è praticamente impossibile, a causa dei

volumi, per i costi di gestione e per i rischi annessi al furto o alla distruzione di queste informazioni dal grande valore intrinseco.
Basti pensare che Amazon Web Services ha introdotto il proprio servizio *Cloud* per le imprese nel 2006, quando la tecnologia era agli albori, gestendo circa 200.000 oggetti che in soli sette anni sono diventati 1 trilione (Liu, 2013).
Per tutti questi motivi, la tecnologia del *Cloud Computing* rappresenta uno dei cambiamenti più significativi in ambito ICT ed in generale tra i servizi offerti alle imprese, poiché oltre ad essere un'architettura potente e scalabile, permette di eseguire calcoli complessi su larga scala, garantisce l'elaborazione parallela, la sicurezza e l'integrità dei dati (Abaker, et al., 2014).

La necessità di archiviare, processare ed analizzare i grossi volumi di dati generati dai dispositivi IoT, CPS e tutte le altre tecnologie 4.0, in memorie di massa on-line consultabili attraverso un semplice browser internet ha determinato l'affermazione del *Cloud Computing* (Liu, 2013). Per questo motivo che tale tecnologia è considerata una tecnologia abilitante la *smart factory*.
Il *Cloud*, in italiano nuvola, è un luogo di lavoro virtuale, accessibile da un qualsiasi dispositivo (pc, tablet, smartphone) dotato di una connessione internet, identificando l'utente con le credenziali univoche fornite dal *provider.* Il servizio è quindi gestito secondo il nuovo paradigma "*on demand*", con accesso internet ai software del fornitore, e non più "*on premises"* che prevedeva l'istallazione del software sulla macchina locale.

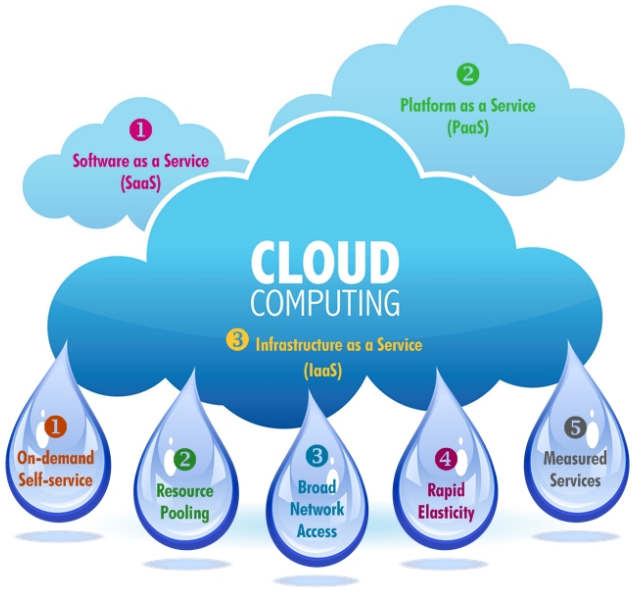


Figura 11 - Le caratteristiche del Cloud Computing (www.politikalesvos.gr)

Il *Cloud Computing*, quindi, è stato così definito dal NIST:

"Il *Cloud Computing* è un modello per abilitare, tramite la rete, l'accesso diffuso, agevole e a richiesta, ad un insieme condiviso e configurabile di risorse di elaborazione (ad esempio reti, server, memoria, applicazioni e servizi) che possono essere acquisite e rilasciate rapidamente e con minimo sforzo di gestione o di interazione con il fornitore di servizi" (Mell, et al., 2011).

Sulla base della definizione appena riportata, si possono determinare le cinque caratteristiche essenziali del *Cloud:*

1. **Self-service su richiesta**: un consumatore può acquistare le prestazioni del servizio autonomamente e senza alcuna interazione umana con il fornitore.

2. **Ampio accesso in rete**: i servizi *Cloud* sono disponibili in rete e facilmente accessibili mediante i dispositivi con connessione internet attiva (smartphone, laptop, tablet e workstations).

3. **Condivisione delle risorse**: essendo un servizio offerto in rete, le risorse di calcolo del fornitore sono messe a disposizione per un numero molteplice di consumatori. Il modello di fornitura utilizzato è di tipo *multi-tenant,* è quindi condiviso tra tutti gli utilizzatori e le risorse sono soggette ad una continua

riassegnazione virtuale in base alla domanda di fornitura. Le risorse alle quali si fa riferimento includono la memoria, l'elaborazione e la lunghezza di banda.

4. **Elasticità rapida**: le risorse sono assegnate e rilasciate tanto velocemente da dare la sensazione al consumatore che queste siano illimitate.

5. **Servizio misurato**: i servizi di *Cloud Computing* hanno un processo automatico di ottimizzazione delle risorse, tale da garantire la logica di *cost saving* e la trasparenza dell'intero processo*;* tanto è vero che l'utilizzo delle risorse, il loro monitoraggio ed il controllo, sono completamente osservabili sia per il fornitore che per il cliente (NIST, 2011).

Le modalità di fornitura del servizio *Cloud* può essere di tre differenti tipologie (NIST, 2011):

- **Software as a Service (SaaS)**: il cliente non deve istallare alcun software sul proprio dispositivo, ma gli basta accedere ad un'applicazione via browser per poter usufruire del servizio *Cloud.* Il pagamento avviene "per utente", quindi ad ogni account è associato un utilizzatore che paga un canone mensile. Per questa tipologie di fornitura, l'utilizzatore non ha alcun controllo dell'infrastruttura sottostante il servizio, né della rete, dei server, del sistema operativo, della memoria e nemmeno delle capacità delle singole applicazioni che sono completamente gestiti dal fornitore.

- **Platform as a Service (PaaS)**: il consumatore usufruisce dell'infrastruttura del fornitore, ma le applicazioni sono sviluppate da lui in proprio o acquistate da terzi assicurandosi che il linguaggio di programmazione utilizzato, le librerie ed i servizi siano supportati dall'infrastruttura *Cloud.* Per questo tipo di fornitura, il cliente continua a non avere il controllo dell'infrastruttura, della rete, dei server, della memoria e del sistema operativo, ma ha il controllo delle applicazioni.

- **Infrastructure as a Service (IaaS)**: per quest'ultima tipologia di fornitura, il consumatore può usufruire delle risorse fondamentali al calcolo come l'elaborazione, la memoria e la rete, oltre che le applicazioni ed il sistema operativo. In questo caso però spetta al cliente controllare la rete, i server, la

memoria, il sistema operativo e le applicazioni, tranne l'infrastruttura che sostiene il *Cloud*.

La tecnologia del *Cloud Computing* ha il grosso vantaggio di offrire l'infrastruttura in grado di gestire importanti volumi di dati a costi vantaggiosi. Le imprese pagano questo servizio secondo la logica "*Pay by Use*", in modo da concentrarsi solo sul core business senza preoccuparsi di problemi quali l'infrastruttura, la flessibilità e la disponibilità delle risorse (Aceto, et al., 2013); quindi senza dover affrontare investimenti in hardware, evitando il rischio di non avere abbastanza risorse per sostenere l'infrastruttura nei momenti di crescita del flusso di dati e aggirando anche il rischio opposto di avere risorse inutilizzate quando i volumi di dati calano (Torchiani, 2018).

Purtroppo a questa tecnologia sono associati una serie di rischi, legati alla sicurezza dei dati e della privacy. Nel corso degli ultimi anni sono molteplici i casi per i quali sono stati registrati furti o utilizzo improprio delle informazioni riguardanti i consumatori.

Per uso improprio molte volte si intende l'utilizzo di dati sensibili dei consumatori per finalità di ricerche di mercato o profilazione degli utenti, le quali danno la possibilità alle imprese di ottimizzare i costi del marketing, facendo offerte mirate a potenziali utilizzatori sulle conoscenze possedute riguardo i gusti del consumatore stesso.

In quest'ottica e per ovviare a queste problematiche, lo scorso maggio, la comunità europea ha messo in vigore il nuovo regolamento GDPR (*General Data Protection Regulation*) per la corretta gestione e protezione dei dati dei consumatori.

1.3.5 Blockchain

La *Blockchain*, o catena di blocchi, è il processo di condivisione delle risorse informatiche (memoria, CPU, banda) da parte di un numero molteplice di soggetti, al fine di rendere disponibile un unico d*atabase* virtuale per tutti gli utilizzatori. Questi utenti hanno la possibilità di poter avere a disposizione una copia personale e decentralizzata del *database* utilizzando semplicemente la connessione alla rete (M.Benedetti, 2016).

Nell'ultimo periodo il concetto di *Blockchain* è stato associato al Bitcoin e per questo motivo nell'immaginario comune l'applicabilità di questa tecnologia è esclusivamente legata al mondo del *digital currency* e del *payment.* In realtà, questa piattaforma, può essere di grande valore oltre che per la gestione delle transazioni, anche per gli scambi di informazioni e dati in settori diversi e lontani dal *finance* ai *payment* (Bellini, 2019).

Prima di determinare gli ambiti di applicabilità ed i vantaggi ottenibili dallo sfruttamento di tale tecnologia, iniziamo col dire che la *Blockchain* appartiene alle *Distributed Ledger Technology* (DLT). Questa famiglia di tecnologie fa riferimento ad un registro distribuito e quindi prevede un meccanismo di validazione non centralizzato, ma basato sul concetto del consenso sui nodi della rete. Le modalità di gestione del consenso e le logiche che governano le impostazioni del registro sono i due aspetti caratterizzanti le DSL; quindi la *Blockchain* è strutturata in modo da gestire le transazioni mediante una Catena di Blocchi ed il consenso è distribuito su tutti i nodi della catena, in modo che tutti i nodi vengono coinvolti per la validazione delle transazioni e nessuno ha modo di prevalere sugli altri (Bellini, 2019).
In Figura 12 possiamo vedere la struttura di una rete DLT e la distribuzione dei nodi.

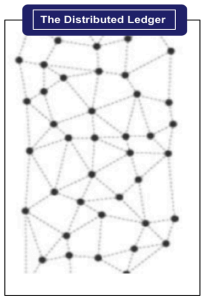


Figura 12 - La rete Distributed Ledger (www.blockchain4innovation.it)

Il concetto di *Blockchain* è stato introdotto per la prima volta nel 1991, da Stuart Haber e W. Scott Stornetta (Haber, et al., 1991), e distribuita nella prima versione il 2008 quando Satoshi Nakamoto pubblicò il suo saggio "*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*". La tecnologia alla quale facciamo riferimento oggi è la seconda generazione, presentata nel 2014 come "Blockchain 2.0", che si basa sulla logica del *database* distribuito tra tutti i nodi, cioè i partecipanti della rete, e che permette lo scambio di valute nell'unità di misura del *token*, senza l'intermediazione di organizzazioni che governano le movimentazioni. Sono gli stessi componenti della rete a verificare, approvare ed archiviare queste transazioni, raggruppate in blocchi, e per le quali saranno retribuiti mediante criptomonete (Greebel, et al., 2015).

La *Blockchain* è un paradigma più che una tecnologia e la sua definizione si basa sulla concettualizzazione digitale delle sue quattro caratteristiche (de Leon, et al., 2017):

1. Sicurezza
2. Trasparenza
3. Decentralizzazione
4. Immutabilità

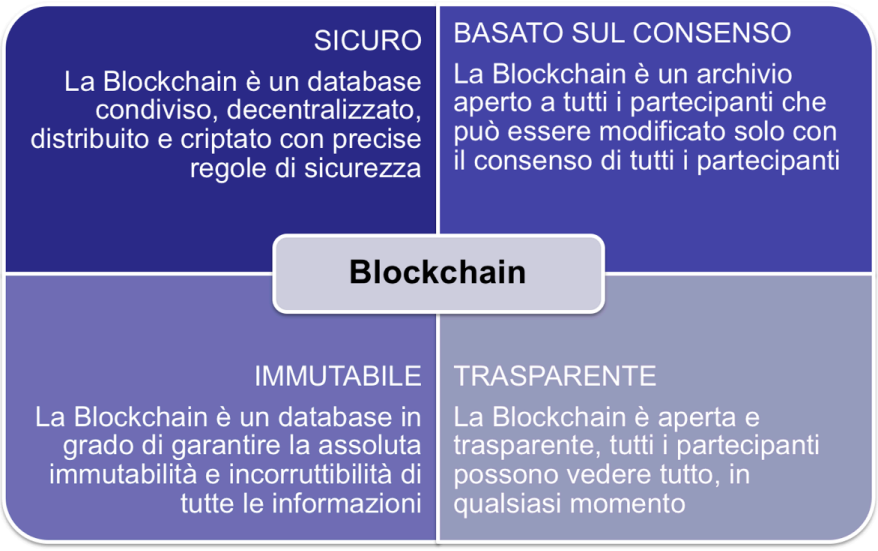


Figura 13 - Le caratterisriche della Blockchain (www.blockchain4innovation.it)

Supportati dalla seguente immagine possiamo descrivere le sei fasi di una transazione:

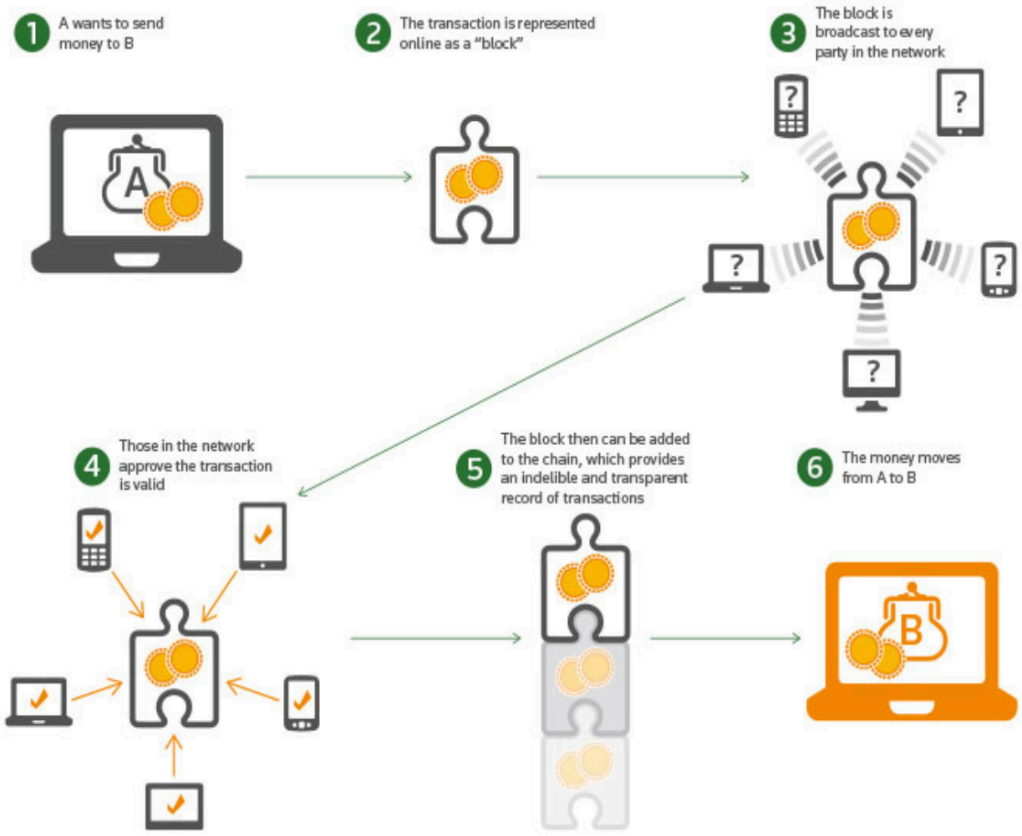


Figura 14 - Le 6 fasi caratterizzanti una transazione (www.blockchain4innovation.it)

Supponiamo di avere due soggetti A e B. B vende un bene ad A, il quale dovrà riconoscere a B un corrispettivo monetario e utilizza una criptomoneta. Viene creata una transazione contenente tutte le informazioni funzionali alla vendita del bene, relative ai due soggetti e contente la firma digitale del pagante; quest'ultima viene criptata per evitare frodi all'interno della rete. Tutte queste informazioni vanno in un blocco congiuntamente alle informazioni relative ad altre transazioni. A questo punto la transazione viene inviata in rete e solo dopo l'approvazione di almeno il 50% + 1 dei componenti, questa viene archiviata ed il nuovo blocco si aggiunge alla catena di blocchi che forma la blockchain. Archiviato all'interno del database comune all'intera catena, la transazione diventa irrevocabile (Yaga et al., 2018).

Come affermato ad inizio paragrafo, l'applicabilità di questa tecnologia non è finalizzata esclusivamente alle transazioni, ma può avere un impatto importante

anche per lo *smart manufacturing* e sull'Industria 4.0 in generale; per questo motivo la *blockchain* può essere la tecnologia abilitante l'internet del valore. La tendenza riscontrata verso l'informatizzazione dei processi ed il concetto di fiducia intrinseco alla *blockchain* possono garantire un supporto alla produzione, alla logistica ed all'intera *Supply Chain* nell'ottica della decentralizzazione; sfruttando la logica dei blocchi per inviare "pacchetti" di dati che contengono tutte le informazioni, le caratteristiche del prodotto e le modalità di produzione (Iansiti, et al., 2017). Questa applicazione appena descritta ad esempio, combinata alla tecnologia delle stampanti 3D, potrebbe permettere al consumatore di acquistare un prodotto via internet e "produrlo" direttamente a casa, ma allo stesso tempo grazie alle informazioni criptabili all'interno dei blocchi, riuscirebbe a difendere la proprietà intellettuale del fornitore.

1.3.6 Additive Manufacturing (AM)

Dopo aver affrontato le tematiche dell'Industria 4.0 correlate ai flussi informativi ed alle tecnologie a supporto per la generazione, l'archiviazione e le analisi finalizzate all'estrapolazione del valore intrinseco ai *Big Data*; si sposta l'attenzione sugli aspetti operativi dello *Smart Manufacturing*.

L'*Additive Manufacturing (AM)* è sicuramente tra le tecnologie che ha riscosso maggior clamore, non solo per gli addetti ai lavori ma anche per il consumatore finale, poiché ha reso realizzabile ciò che fino a pochi anni fa sembrava difficilmente immaginabile, la possibilità di poter stampare direttamente a casa propria oggetti tridimensionali utilizzando una stampante 3D. Seppur la diffusione di questa tecnologia risalga agli ultimi anni, il primo a parlarne è stato il suo inventore, Chuck Hull, che nel 1983 mentre utilizza i raggi UV per il processo di laccatura delle vernici, realizza l'idea della stereolitografia come modello per creare oggetti solidi costituiti da progressivi strati di polimero fotosensibile colpito da luce ultravioletta; ottenuto poi il brevetto fonda la società 3D Systems.

Nel 1986 ha lui stesso così definito la sua idea:

“Un sistema per generare oggetti tridimensionali basato sulla creazione di un modello trasversale dell’oggetto da costituire, sulla superficie di un medium fluido capace di alterare il suo stato fisico in risposta a stimoli sinergici quali radiazione incidente, bombardamento di particelle o reazioni chimiche, in lamine adiacenti che rappresentano le sezioni trasversali adiacenti e successive dell’oggetto che si integrano tra loro, provvedendo ad una progressiva crescita per apposizione dell’oggetto desiderato, per cui un oggetto creato da una superficie sostanzialmente planare del medium fluido durante il processo di formazione” (Hull, 1986).

Sulla base di quanto sviluppato da Chuck Hull e le successive innovazioni, l’*additive manufacturing* è oggi inteso come l’insieme dei processi di produzione di fabbricazione additiva, partendo da modelli digitali, in contrapposizione alle tradizionali tecniche sottrattive (lavorazioni per asportazione di truciolo, taglio e foratura). Si parte da un modello CAD 3D che viene suddiviso in strati da un software integrato nel sistema di controllo della macchina, o da servizi on-line; lo schema di strati risultanti guida la stampante nella deposizione, o sinterizzazione, del materiale [2].

La tecnica di fabbricazione *layer by layer* permette di abbattere i vincoli legati alla complessità delle forme realizzabili, diminuire drasticamente il numero di componenti dei prodotti, oltre che ridurre i tempi di progettazione, prototipazione e produzione. Se la complessità di forma è traducibile in crescita dei costi di produzione con le tecniche manifatturiere convenzionali, per l’*additive manufacturing* non è una variabile determinante il costo di produzione (Berger, 2013)

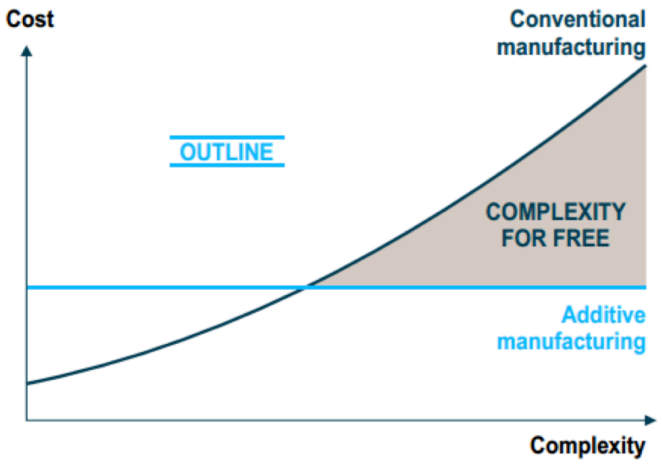


Figura 15 - Come cambia la correlazione tra Complessità e Costi nell'AM (Berger, 2013)

La quasi totale libertà di forma riproducibile permette quindi la realizzazione di forme più complesse rispetto alle tecniche di produzione tradizionali, ma allo stesso tempo semplifica la progettazione delle strutture poiché si riducono drasticamente il numero dei componenti, i collegamenti necessari tra questi e quindi le criticità dovute allo stress delle sollecitazioni (Durach, et al., 2017).
In molti settori, dove l'innovazione tecnologica e lo sviluppo funzionale del prodotto hanno ormai un incremento marginale negativo e la curva di innovazione ha praticamente raggiunto il livello massimo di performance, la concorrenza è fortemente influenzata dagli elementi di design.
Per questi motivi che l'*AM* permette per la prima volta al design di guidare diffusamente la produzione e considerata l'incidenza delle tendenze dei consumatori, piò garantire un importante vantaggio competitivo, permettendo la realizzazione di idee che precedentemente sarebbero state escluse per la complessità delle forme.

Se la diffusione e le performance delle tecnologie abilitanti l'*Additive Manufacturing* sta raggiungendo l'ambito produttivo negli ultimi anni, queste tecnologie sono ampiamente utilizzate da decenni per le fasi di progettazione e prototipazione. La crescita è dimostrata dal fatto che i ricavi dell'*AM* si incrementano del 25% ogni anno tra il 1989 ed il 2017*,* ma allo stesso tempo c'è da notare che per l'ultimo anno in esame solo l'1% del *manufacturing* mondiale è stato prodotto con la tecnica additiva [3].

Lo sfruttamento di tali applicazioni nelle fasi di sviluppo prodotto permette la riduzione del *time to market*, una maggiore flessibilità ed il *cost saving* (D'Aveni, 2015). Il software di progettazione tridimensionale CAD permette di modificare un prodotto semplicemente con un "clic" e di simulare il suo comportamento durante l'utilizzo, evitando lunghe riunioni tra gli ingegneri. La prototipazione rapida garantisce la costruzione del modello fisico in poche ore, internamente, con l'utilizzo di un unico macchinario e senza dover commissionare ai fornitori la produzione dei componenti ed attenderne la realizzazione; evitando così tutte le problematiche, riscontrabili nelle fasi di *product development,* legate ai vincoli strutturali del prodotto e contrattuali tra le imprese (Levchenko, 2015).

Tuttavia, nell'ottica futura di ampia diffusione dell'*AM* per la produzione, industriale o direttamente presso il consumatore finale, ci sono ulteriori vantaggi di riduzione dei costi poiché lo stampaggio dei prodotti elimina completamente gli scarti di produzione; oltre che i costi della logistica, in quanto basterà inviare al cliente il progetto digitale del prodotto e quest'ultimo provvederà a stamparlo direttamente a casa sua (Ford, et al., 2016).

Nonostante i numerosi vantaggi elencati fino a questo punto, l'AM porta con sé un elemento di criticità dovuto alla tutela dei diritti di proprietà industriale, a come questi debbano essere modificati al fine di proteggere gli interessi dei produttori e dei consumatori [4]; problematica sfidante e potenzialmente risolvibile con le possibili applicazioni future della tecnologia Blockchain.

Le tecnologie dell'*Additive Manufacturing* sono tutte accomunate dalla deposizione del materiale strato su strato sulla base di un modello digitale, ma i materiali utilizzati, le modalità di deposizione e di indurimento variano a seconda delle diverse tecnologie [5], di seguito elencate:

- Stereolitografia
- *Fused Deposition Modeling (FDM)*
- *Selective Laser Sintering (SLS)*
- *Direct Metal Laser Sintering (DMLS)*
- Stampanti 3D
- Stampa a getto d'inchiostro
- Fotopolimero a getto d'inchiostro
- *Laminated Object Manufacturing (LOM)*

STEREOLITOGRAFIA (SLA)

La Stereolitografia è temporalmente la prima tecnica di produzione additiva, utilizzata per la prototipazione rapida, commercializzata per la prima volta nel 1988 dalla società 3D System dopo che il suo inventore Charles Hull ne ottenne il brevetto. La macchina stereolitografica converte la plastica liquida in oggetti solidi (Palermo, 2013), secondo le seguenti modalità di funzionamento:
Un laser, grazie ad un processo di fotopolimerizzazione, solidifica una resina liquida, versata in una vasca all'interno della macchina, nei punti previsti dal modello 3D. Dopo aver rimosso la resina in eccesso il piatto di stampa si abbassa per consentire la creazione di una nuova sezione, fino ad ultimazione del processo. Successivamente il prodotto così ottenuto viene inserito in un forno a luce ultravioletta per terminare il processo di polimerizzazione [6].

Nonostante sia la prima tecnologia introdotta per la stampa tridimensionale è tra le meno diffuse a causa dei costi elevati per l'acquisto dei macchinari e per i materiali utilizzati. Nonostante ciò, la Stereolitografia garantisce la produzione di oggetti dalle dimensioni importanti (fino a 75 cm), con una elevata risoluzione superficiale ed ottime tolleranze; ma non si può dire lo stesso per le proprietà meccaniche e termiche che non garantiscono altrettante prestazioni soddisfacenti.

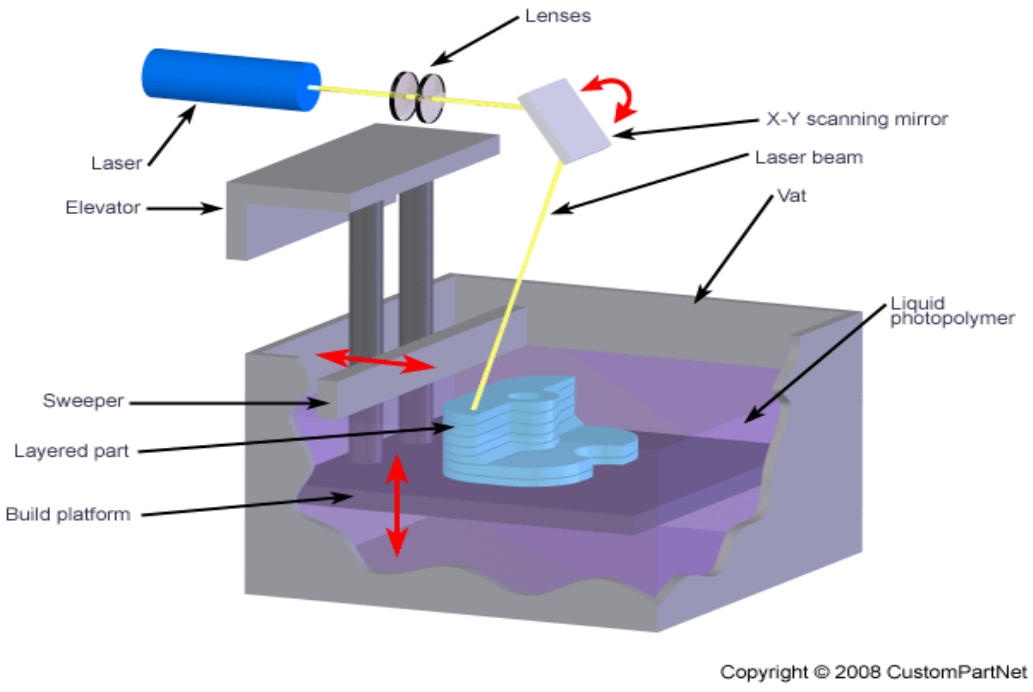


Figura 16 - Stereolitografia (www.custompartnet.com)

Negli ultimi anni, per andare incontro alle esigenze dei consumatori, sono state prodotte le stampanti MICRO-SLA dai costi e volumi (massimo 20 cm) nettamente inferiori, così come la velocità di stampaggio. Tutte queste caratteristiche hanno determinato il successo di questi macchinari per la prototipazione rapida in nuovi settori legati al design, come ad esempio l'arte e la gioielleria.

Inoltre, molto simile alla tecnologia Stereolitografica, c'è una nuova tecnica di prototipazione rapida chiamata Digital Light Processing (DLP) che si differenzia dall'SLA per la polimerizzazione della resina liquida attraverso dei proiettori LED o LCD. La spinta per lo sviluppo di questa nuova tecnica produttiva è dovuta alla maggiore economicità dei macchinari, nonostante risultino ancora lontani gli standard di precisione superficiale garantiti dalle classiche stampanti stereolitagrafiche.

FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

FDM nota anche come FFF, acronimo di "*Fused Filament Fabrication*", è una tecnologia introdotta da Scott Crump nel 1989 e commercializzata dalla società Stratasys, di cui è co-fondatore, nei primi anni '90.

In questa tecnica di produzione additiva un filamento plastico viene estruso attraverso un ugello, il quale muovendosi lungo i tre assi, traccia su di un piatto la sezione trasversale dell'oggetto strato per strato. L'estrusore contiene riscaldatori resistivi che portano il filamento di plastica ad una temperatura appena sotto il punto di fusione, circa 185°C, in modo che scorra facilmente attraverso l'ugello e vada a creare lo strato che si solidifica immediatamente a contatto con la superficie precedentemente depositata.

Un importante vantaggio della tecnologia FDM è la possibilità di poter costruire oggetti con geometrie molto complesse ed una precisione molto accurata, tanto è vero che a seconda dei materiali utilizzati, gli strati possono avere uno spessore fino a 0,05 mm e rispettare così tolleranze molto stringenti rispetto al progetto.

Nonostante questa tecnica garantisca importanti performance di precisione dimensionale, sulla superficie dell'oggetto sono visibili gli strati di materiale depositati, imperfezioni che se necessarie possono però essere parzialmente o totalmente eliminate da un successivo lavoro di finitura [7].

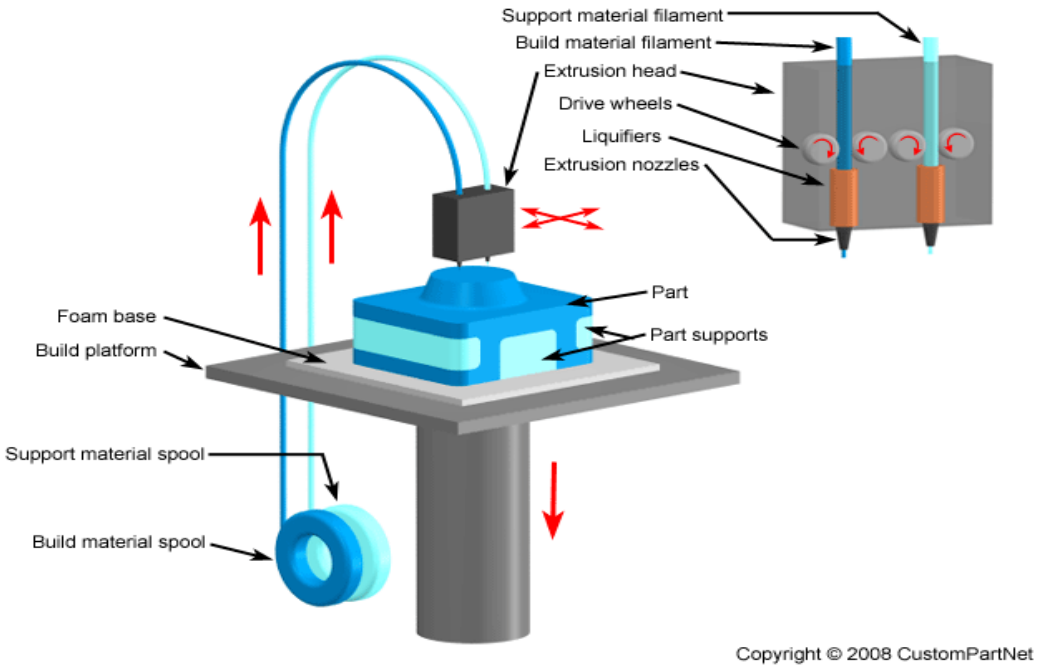


Figura 17 - Fused Deposition Modeling (www.custompartnet.com)

Tale tecnologia è spesso erroneamente considerata economica poiché ci sono stampanti il cui prezzo parte dai 300€ circa, ma se consideriamo l'utilizzo di tali macchinari con finalità professionali, i costi arrivano a centinaia di migliaia di Euro, così come i prezzi dei materiali che crescono esponenzialmente al crescere della specificità delle caratteristiche desiderate.

Il materiale maggiormente utilizzato è il PLA (Acido Polilattico) che ha medie proprietà di robustezza e flessibilità; mentre per le finalità professionali sono principalmente utilizzati ABS (Acrilonitrile butadiene stirene), Nylon e Policarbonati che garantiscono importanti performance meccaniche, termiche e di robustezza.

SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)

La tecnologia SLS è stata sviluppata agli albori del 1980 da Carl Deckard che, dopo aver ottenuto il brevetto, ha fondato la DTM Corporation nel 1989. La vera e propria commercializzazione di tale tecnologia è però partita solo nel 2001 quando la DTM è stata acquisita dalla 3D Systems.

Questo processo di produzione additiva utilizza un raggio laser molto potente che va a riscaldare lo strato di polvere plastica o metallica, dello spessore di circa 1mm, in specifici punti che sotto l'effetto del calore andranno a fondere le particelle tra loro; quest'attività viene ripetuta più volte fino a che non saranno terminati gli strati necessari alla costruzione dell'oggetto progettato.

Al termine di questa fase il pezzo prodotto viene sollevato dalle polveri non sinterizzate, le quali possono essere parzialmente o completamente riutilizzate, e dopo essere stato spazzolato e levigato il processo è completato [8].

Nel caso in cui l'oggetto da produrre sia metallico, la tecnologia SLS è leggermente diversa poiché la polvere di acciaio viene solidificata con un polimero legante ed affinché sia completato il processo, dopo la produzione additiva, c'è un passaggio in forno a 900°C al fine di migliorare la densità del composito.

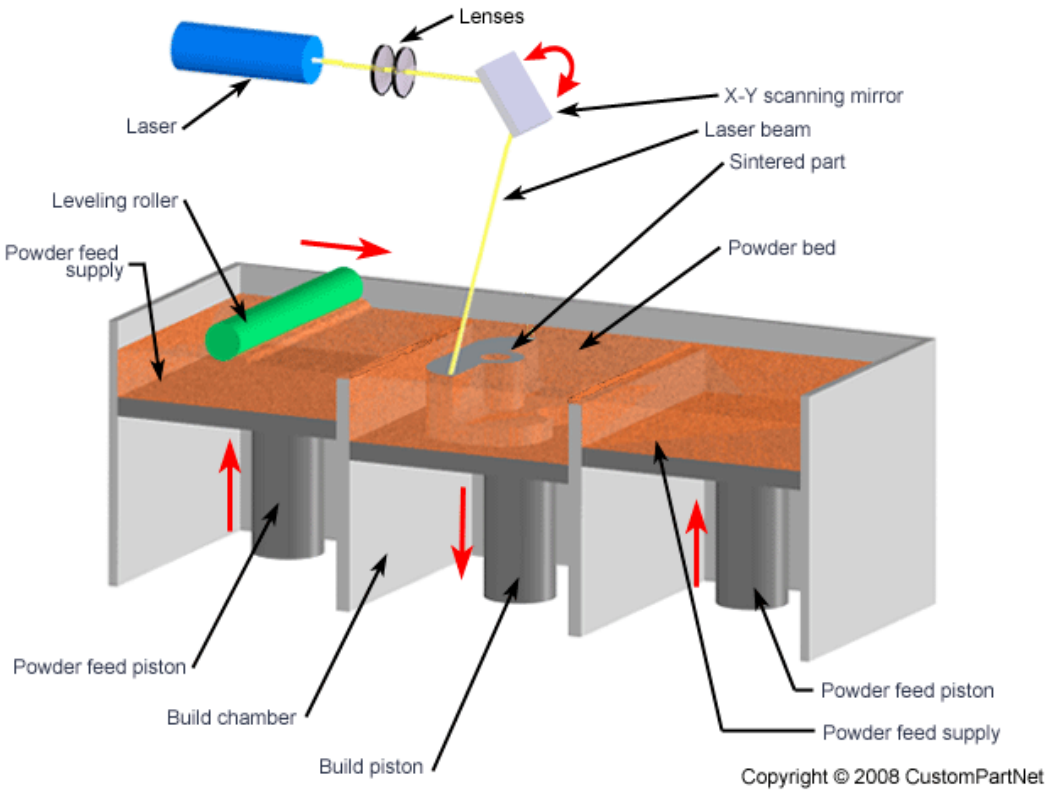


Figura 18 - Selective Laser Sintering (www.custompartnet.com)

La tecnologia SLS, essendo la materia prima una sostanza polverosa, da vita ad oggetti la cui superficie è leggermente granulosa e per questo motivo che potrebbe essere prevista una lavorazione successiva di levigazione e finitura; ma allo stesso tempo, questa tecnica di produzione, riesce a garantire agli oggetti importanti

proprietà di robustezza, elasticità e resistenza termica seppur i costi di acquisto di questi macchinari per la produzione industriale siano molto elevati.
I materiali utilizzati, plastici o metallici, vengono solitamente miscelati con la polvere di Nylon al fine di garantire al pezzo stampato le proprietà meccaniche e termiche appena descritte.

DIRECT METAL LASER SINTERING (DMLS)

La DMLS è la principale tecnologia di prototipazione rapida e produzione in piccola serie di parti metalliche, sviluppata a partire dal 1994 in cooperazione dalle società Rapid Product Innovation e EOS GmbH.
Il DMLS è un processo di sinterizzazione delle polveri metalliche e così come visto per il Selective Laser Sintering (SLS) le polveri stese all'interno della camera di costruzione del materiale vengono fuse dalla scansione di un potente raggio laser. Per ottenere un prodotto finito meno poroso, non viene utilizzato il legante polimerico visto nel SLS, ma la materia prima utilizzata è esclusivamente metallica e quindi non è più necessaria la fase di burn-off.
L'utilizzo esclusivo di particelle di metallo determina una densità dell'acciaio pari al 95%, rispetto al 70% del SLS, oltre che una maggiore risoluzione dei dettagli, dovuto agli strati di materiale più sottili (circa 20 μm) grazie al diametro più piccolo delle particelle.
La complessità delle forme riproducibili ed il rispetto di tolleranze stringenti, rende questa tecnologia altamente performante per la produzione di prototipi funzionali ed utensili rapidi in ambito medico, aerospaziale ed in generale per applicazioni ad alto calore.

Il processo DMLS prevede l'utilizzo di diverse opzioni di materiale come acciaio legato, acciaio inossidabile, acciaio per utensili, alluminio, bronzo, cromo-cobalto e titanio e può essere eseguito con due diversi metodi: deposizione di polvere e letto di polvere, che differiscono esclusivamente nel modo in cui viene applicato ogni strato di materia. Nel metodo del letto di polvere (mostrato nella figura seguente), il pistone di distribuzione solleva l'alimentatore e quindi un braccio di ricoprimento

distribuisce uno strato di polvere sul piano, o letto; un laser quindi sinterizza il metallo in polvere.

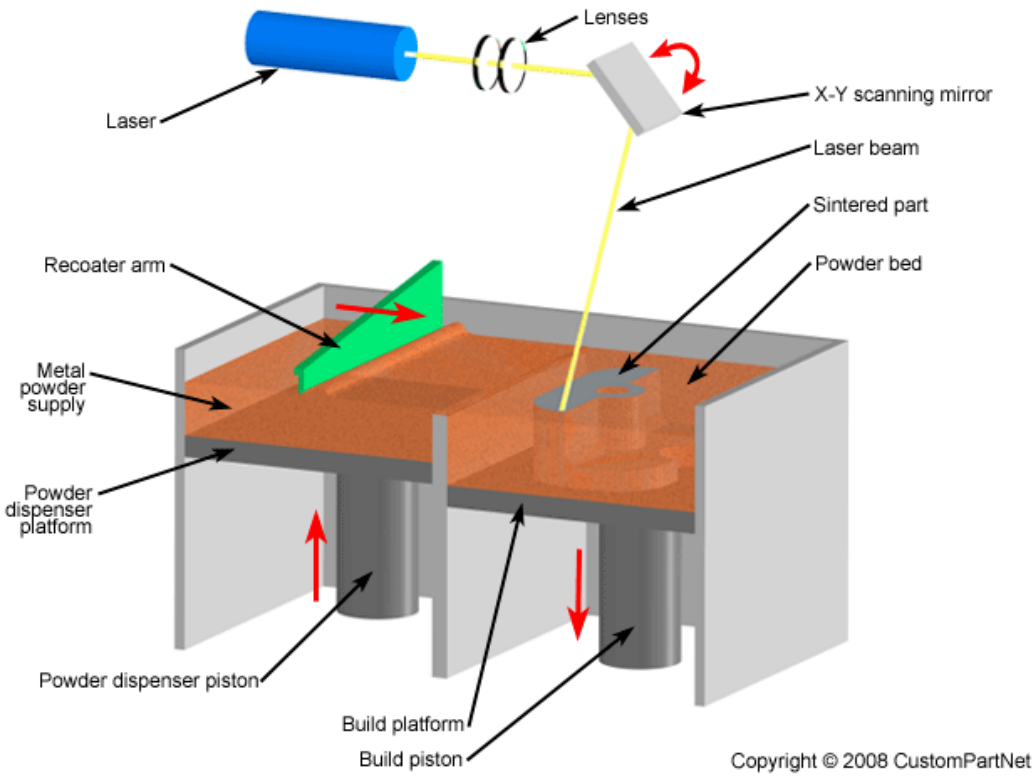


Figura 19 - Direct Metal Laser Sintering (www.custompartnet.com)

Nel metodo di deposizione in polvere, la polvere metallica è contenuta in una tramoggia che scioglie la materia prima e deposita uno strato sottile sulla piattaforma di costruzione. In entrambi i metodi, dopo che uno strato è stato costruito, il pistone di costruzione abbassa la piattaforma e viene applicato il successivo strato di polvere. Il metodo di deposizione in polvere offre il vantaggio di utilizzare più di un materiale, ciascuno nella propria tramoggia. Il metodo del letto in polvere è invece limitato ad un solo materiale, ma offre velocità di costruzione più elevate [9].

STAMPANTI 3D

La tecnologia che governa le stampanti 3D, oggi commercializzate da diverse società, è stata sviluppata dal Massachusetts Institute of Technology (MIT). Il processo di stampa tridimensionale è anch'esso molto simile al Selective Laser Sintering poiché oltre ad utilizzare la polvere come materia prima, prevede che

questa venga sollevata da un pistone e distribuita da un rullo livellatore per formare uno strato sottile, il quale viene poi ricoperto da un liquido adesivo e gettato da una testina di stampa in modo da poter legare le particelle tra loro e formare uno strato del pezzo. Dopo che ogni singolo strato sia stato stampato, il pistone abbassa la piattaforma di costruzione per aggiungere un nuovo strato di polvere. Quando la fase di stampaggio del pezzo è stata completata, eventuali pezzi di supporto possono essere rimossi e così la successiva fase di spazzolatura può completare le rifiniture.

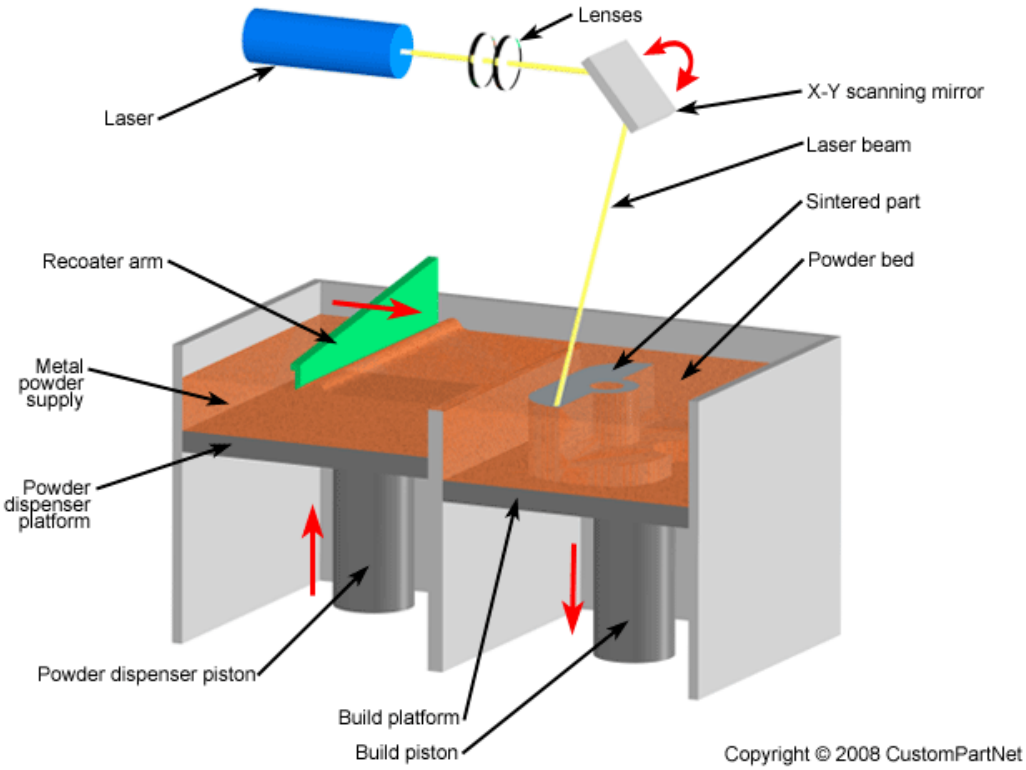


Figura 20 - Stampante 3D (www.custompartnet.com)

Le opzioni di materiale, tra i quali polveri metalliche o ceramiche, utilizzabili per questa tecnologia seppur limitate risultano poco costose e con elevate velocità di costruzione (2-4 livelli al minuto) rispetto ad altri processi additivi. Tuttavia dato che l'accuratezza, la finitura superficiale e la forza parziale non sono altrettanto buone quanto negli altri processi additivi, la stampa 3D viene prettamente utilizzata per la prototipazione rapida di modelli concettuali e non per eseguire test funzionali [10].

STAMPA A GETTO D'INCHIOSTRO

La fabbricazione additiva a getto d'inchiostro è una tecnologia molto simile alla comune tecnica di stampa 2D, con la differenza che le gocce di inchiostro depositate sulla carta siano state rimpiazzate da materiali termoplastici e cera, mantenuti allo stato fuso. Il processo di raffreddamento delle gocce a contatto con la superficie di base o con gli altri strati è molto veloce, quasi istantanea, tanto è vero che il processo è definito come stampa a getto d'inchiostro a cambiamento di fase termica. In generale però la velocità di costruzione è abbastanza limitata, così come le gamme di materiali utilizzabili e le proprietà meccaniche dei prodotti finiti; ai quali però è garantita un'eccellente precisione e finiture superficiali. È quindi facilmente intuibile che la stampa a getto d'inchiostro è utilizzata per la prototipazione rapida per i test di forma ed adattabilità in tutti quei settori come la gioielleria e le biotecnologie dove i prodotti richiedono elevati standard di precisione.

Le stampanti a getto d'inchiostro possono essere di due tipologie, la ModelMake(MM) e la MultiJet Modelling(MJM); se la prima utilizza un getto per il materiale di costruzione e l'altro per il materiale di supporto, la seconda è dotata di diverse centinaia di ugelli che gettano sia materiale di costruzione che di supporto al fine di ridurre i tempi di costruzione.

Il processo di stampa è quindi così strutturato, inizia con il materiale di costruzione (termoplastico) e il materiale di supporto (cera) mantenuto stato fuso all'interno di due serbatoi riscaldati. Questi materiali vengono inviati a una testina di stampa a getto d'inchiostro che si muove nel piano X-Y e spara minuscole gocce nelle posizioni richieste per formare uno strato della parte. Sia il materiale di costruzione che il materiale di supporto si raffreddano e solidificano all'istante. Dopo che uno strato è stato completato, una testa di fresatura si muove attraverso lo strato per levigare la superficie. Le particelle risultanti da questa operazione di taglio vengono aspirate via dal collettore di particelle. L'ascensore quindi abbassa la piattaforma di costruzione ed il pezzo in lavorazione in modo da poter costruire il livello successivo. Dopo che questo processo è ripetuto per ogni strato, il pezzo può essere rimosso ed il materiale di supporto della cera può essere sciolto [11].

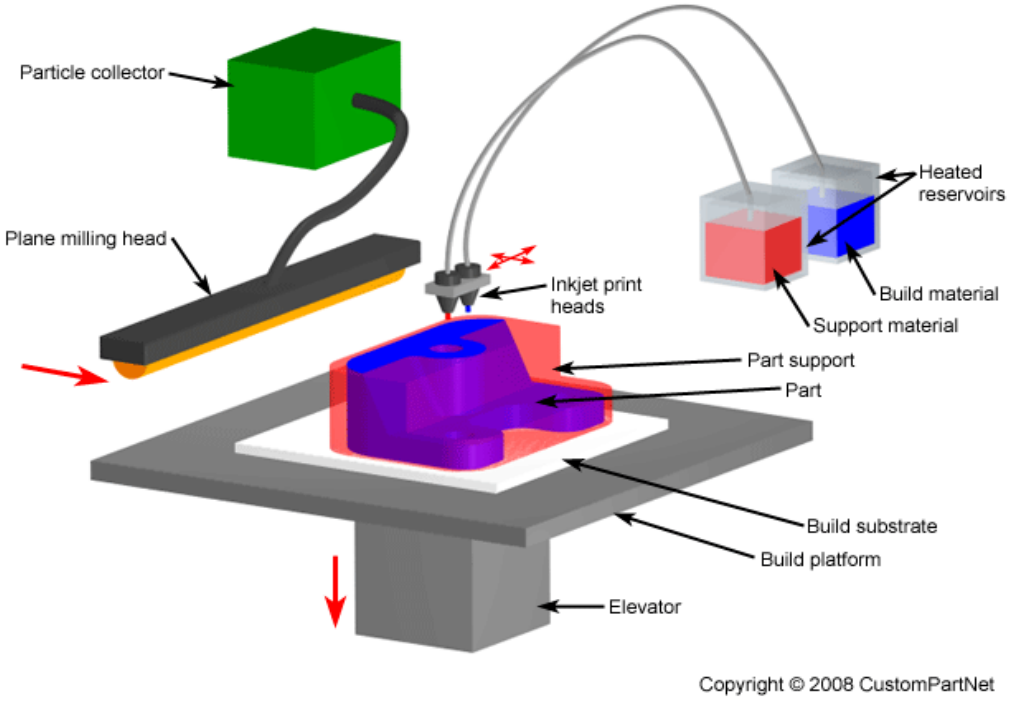


Figura 21 - Stampa a getto d'inchiostro (www.custompartnet.com)

FOTOPOLIMERO A GETTO D'INCHIOSTRO

Il fotopolimero a getto d'inchiostro è un processo di stampaggio additivo che combina le tecniche utilizzate nella stampa a getto d'inchiostro e nella stereolitografia. Il metodo di costruzione di ogni strato è simile alla stampa a getto d'inchiostro, in quanto utilizza una serie di testine per depositare minuscole gocce di materiale di costruzione e di supporto per formare ogni strato del componente in lavorazione. Tuttavia, come nella stereolitografia, il materiale di costruzione è un fotopolimero a base di acrilato liquido e quindi viene polimerizzato da una lampada UV a compimento di ogni strato.

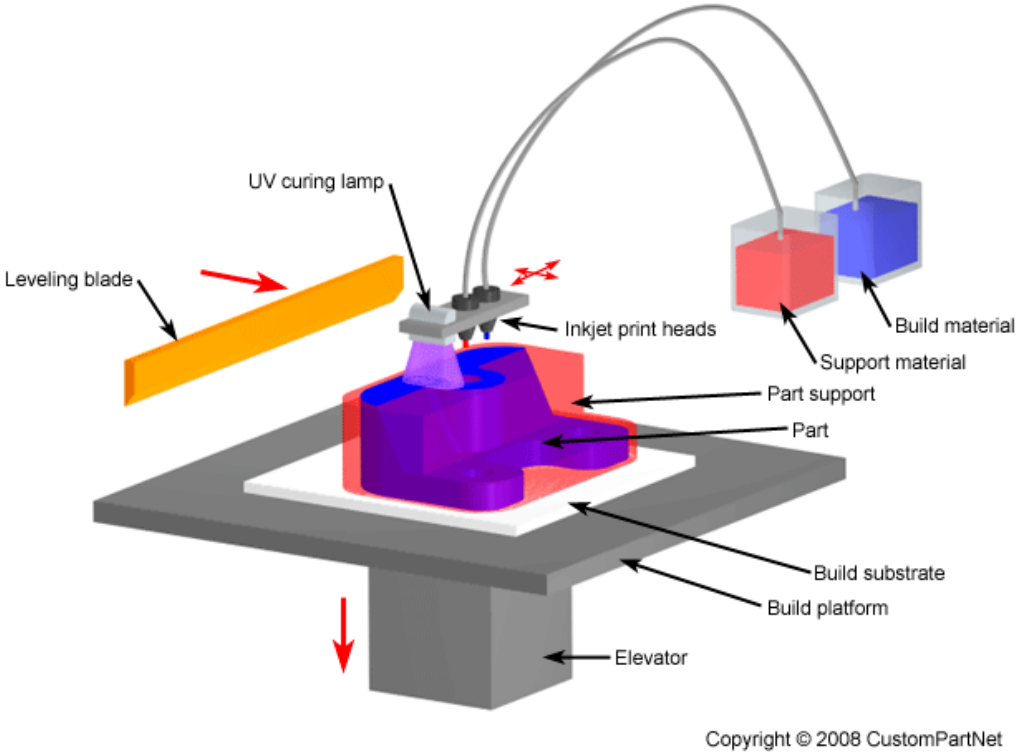


Figura 22 - Fotopolimero a getto d'inchiostro (www.custompartnet.com)

I vantaggi di questo processo sono l'accuratezza e le finiture superficiali molto buone. Tuttavia, i dettagli delle caratteristiche e le proprietà dei materiali non sono abbastanza buoni come la stereolitografia. Come per la stampa a getto d'inchiostro, l'applicazione più comune di questa tecnologia è rappresentata dai prototipi utilizzati per i test di forma e adattamento [12].

LAMINATED OBJECT MANUFACTURING (LOM)

L'ultima tecnologia additiva presentata in questo studio è la Laminated Object Manufacturing (LOM), sviluppata ad inizio anni '90 in California. Il processo di lavorazione è basato sul taglio a laser di fogli di materiale, ognuna di questi componente uno degli strati del pezzo da produrre.

Scendendo nel dettaglio, come possiamo vedere dall'immagine seguente, il sistema è caratterizzato da un meccanismo di alimentazione che fa avanzare il foglio su di un piano di costruzione attraverso un rullo riscaldato, il quale applica la pressione sufficiente affinché il foglio leghi con gli strati sottostanti; mentre un laser taglia il contorno di ogni singola lamina così come da progetto CAD. Dopo che l'ultimo foglio abbia ben aderito agli altri strati e sia stato correttamente tagliato dal laser, il piano di lavorazione viene abbassato della giusta profondità di lavorazione del foglio, per poi essere rialzato e permettere ad un ulteriore lamina di formare un nuovo strato. Quando tutti gli strati sono stati completati analogamente a quanto descritto, il materiale superfluo deve essere rimosso manualmente e quindi si può procedere ad un importante lavoro di rifinitura [13].

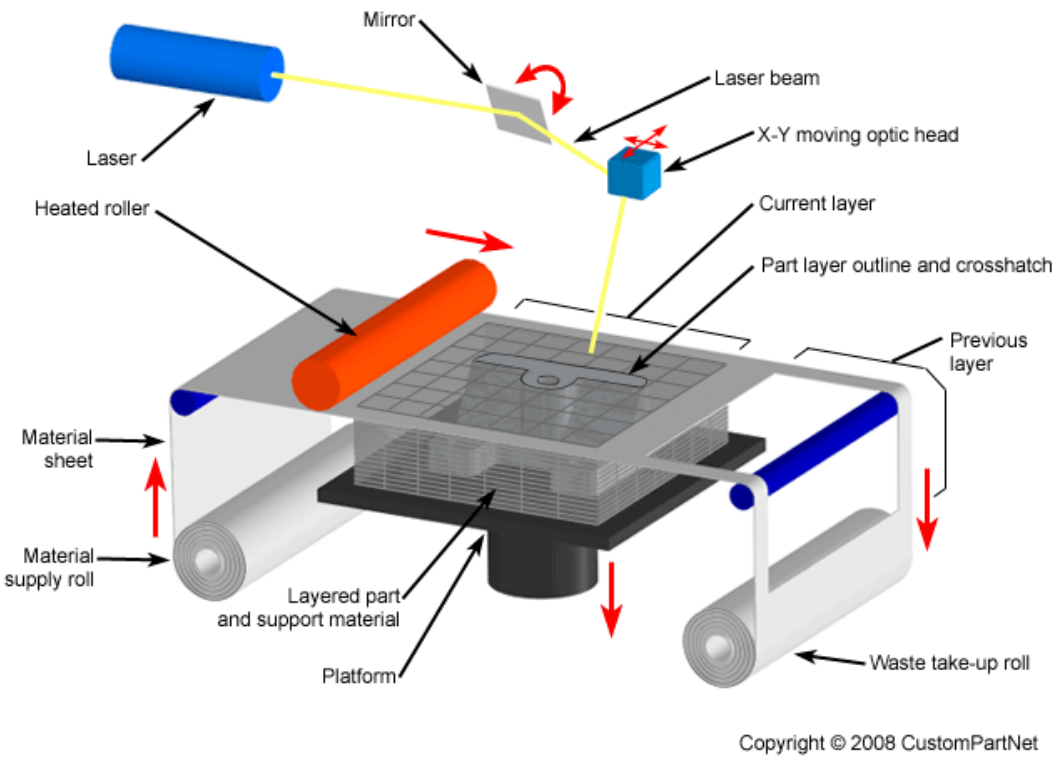


Figura 23 - Laminated Object Manufacturing (www.custompartnet.com)

I materiali utilizzabili per questa tecnologia sono i termoplastici in PVC ed i compositi (ceramiche, metalli ferrosi e non ferrosi); la velocità di stampa è sicuramente il principale vantaggio di questo processo, mentre la precisione superficiale riesce a garantire una tolleranza di 0,1mm con uno spessore dello strato di 0,05mm.

1.3.7 Advanced Automation

I Robot ampiamente utilizzati da decenni in molti apparati produttivi, nonostante siano da sempre considerati l'elemento più innovativo da poter impiegare nelle attività industriali, stanno subendo un cambiamento all'interno del panorama dell'Industria 4.0.

Come ripetuto più volte nel corso di questo capitolo, la necessità di focalizzazione sui bisogni del singolo consumatore, così come l'esigenza di reagire sempre più tempestivamente ai cambiamenti interni ed esterni alla propria *value chain,* hanno costretto le imprese ad avviare un processo coerente di digitalizzazione e determinato la necessità di collegare tutte le unità produttive all'interno della propria *Supply Chain.*

Questi trend stanno spingendo l'affermazione di un nuovo paradigma della Robotica, non più vista come la disciplina che progetta Robot affinché svolgano in automatico il lavoro umano, ma è intesa come l'insieme di attività che ha lo scopo di sviluppare il *Cobot*, un robot collaborativo, capace di elaborare le informazioni interne ed esterne al proprio sistema e riprogrammarsi secondo le più corrette azioni di lavoro, grazie all'intelligenza artificiale in esso implementata.

Il concetto di *cobot*, piuttosto che l'amplificazione del potere umano, suppone che il controllo condiviso sia il fattore chiave; tanto è vero che la funzione principale del *collaborative robot* è di portare un ambiente virtuale, definito nel software, in un effetto fisico sul movimento di un carico reale e quindi anche sul movimento dell'operatore umano. L'ambiente virtuale può quindi contenere regioni in cui l'operatore è libero di spostare il carico utile a proprio piacimento e altre regioni in cui il carico utile non può penetrare; per questo l'utilità di una superficie virtuale può essere ad esempio paragonata a quella di un righello. Disegnare una linea retta su un pezzo di carta, non vincolato, è un compito fatto lentamente e non molto bene;

mentre invece utilizzando il righello il lavoro è svolto più velocemente e meglio (Peshkin, et al., 2001).

I robot stanno così diventando più autonomi, flessibili e cooperativi; capaci di interagire tra di loro, compiere azioni deduttive e lavorare fianco a fianco con gli umani, imparando da loro e migliorando le condizioni di sicurezza dei lavoratori stessi (Bloss, 2016).
Come possiamo vedere dalla successiva figura, non c'è più la necessità di isolare l'area di lavoro del robot, la sua integrazione negli spazi di lavoro umani rende le attività più economiche e produttive oltre ad ampliare i possibili campi di applicazione.

Figura 24 - Un esempio di Cobot (www.mfgtechupdate.com)

L'uso dei robot infatti non è più focalizzato esclusivamente alla produzione o alle attività a supporto, come può essere il controllo qualità, ma si sta allargando alle varie funzioni aziendali come la logistica (basta pensare agli shuttle Kiva utilizzati da Amazon, veicoli autonomi che si riconoscono tra loro e sono capaci di prelevare, depositare e trasportare merce senza necessitare di alcun controllo) e gestione degli uffici (per distribuire documenti) che possono essere controllati da remoto. Se si verifica un problema, il lavoratore riceverà un messaggio sul suo cellulare collegato ad una webcam, in modo che possa vedere i problemi e dare istruzioni alla produzione continua fino a quando non ritorna il giorno successivo; permettendo agli impianti di lavorare h24, nonostante la giornata lavorativa del singolo operatore duri molto meno (Bogue, 2016).

1.3.8 Advanced Human - Machine Interface (HMI)

Restando nell'ottica di collaborazione tra uomo e macchina, l'Human-Machine Interface o interfaccia uomo-macchina, è la piattaforma per il trasferimento della conoscenza e dell'informazione tra l'uomo e la macchina. L'HMI abbraccia tutte quelle tecnologie hardware o software capaci di gestire e tradurre grandi volumi di dati in un linguaggio comprensibile all'uomo, permettendo a quest'ultimo di controllare ed impartire ordini ad un macchinario, dalla postazione di lavoro o in remoto. L'informazione comunicata all'uomo è riconosciuta dal sistema di percezione attraverso i tre sensi: vista, udito e tatto; ma tra questi l'aspetto visivo è l'elemento più intuitivo oltre che più critico, di conseguenza quello maggiormente utilizzato e per il quale il design influenza direttamente la qualità dell'HMI (Gong, 2009). A tal proposito, il professore Michel Porter è intervenuto nel corso del *World Business Forum di Milano* specificando che gli uomini e le macchine devono continuare a collaborare, ma la vera domanda del momento è: "*capire qual è la forma di interfaccia che può massimizzare questa creazione di valore, in questa fase storica della trasformazione digitale"* (Lazzarin, 2018); in altre parole i nuovi trend tecnologici pongono molta risonanza sul principio di **Usabilità**, così come definito dall' ISO 29249 - *Ergonomics of Human System Interaction (2006)* : "*la misura in cui un prodotto può essere utilizzato da utenti specifici per raggiungere obiettivi specifici con efficacia, efficienza e soddisfazione in un determinato contesto di utilizzo*" [14].

Negli ultimi anni, all'ormai noto concetto di HMI è stato aggiunto il termine *advanced*, attributo che fa riferimento alla proposta di soluzioni ed applicazioni non banali per le attività di interazione tra persone, sistemi informatici e componenti meccanici [15].

Le applicazioni possono essere basate sulle sole tecnologie di input, come il riconoscimento dei gesti ed i comandi vocali, di output quali ultrasuoni e stimolazione tattile, o i sistemi più avanzati dotati di entrambe le funzionalità, esempi di questa casistica sono i visori per la realtà aumentata ed i tanti dispositivi governati dall'intelligenza artificiale (Porta, 2016).

Tale tecnologia, come possiamo vedere dalle seguenti immagini, trova applicazione dal piccolo display per azionare la macchina, al software di controllo degli impianti produttivi istallati sui tablet dei manager, fino ad arrivare ai visori di realtà aumentata che possono guidare in remoto gli operatori per le attività di manutenzione ordinaria e straordinaria sui macchinari.

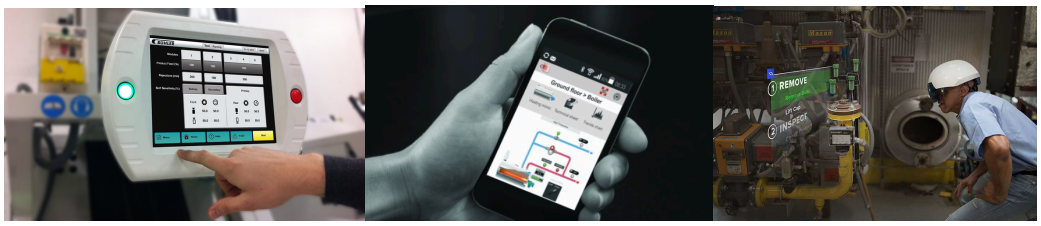


Figura 25 - Alcuni esempi di applicazioni HMI (www.utilityar.com)

Queste innovazioni, come facilmente intuibile, possono garantire importanti vantaggi per la flessibilità delle risorse, nell'ottica dell'ottimizzazione dei processi e per crescita dell'efficienza aziendale. A tal proposito, restando legati ai sistemi software o hardware rappresentati in figura, l'utilizzo di interfacce *touch-screen* rende l'interazione dell'operatore con il macchinario sempre più intuitiva e la possibilità di ricevere feedback fisici dalle tecnologie tattili, gli permette di concentrarsi esclusivamente sul proprio compito, garantendo il raggiungimento di elevati standard di sicurezza. I sistemi HMI, nelle più recenti soluzioni integrate con i sistemi *IoT* e *Cloud Computing*, sono un importante strumento di supporto decisionale per i manager, che così possono avere una visione d'insieme delle attività di controllo, permettendogli di individuare eventuali colli di bottiglia e quindi elaborare strategie di ottimizzazione dei processi; e per i manutentori che hanno la possibilità di controllare real-time lo stato della macchina, prevenire eventuali guasti, risolvere criticità in remoto e quindi evitare fermi macchina molto lunghi e costosi (Motlagh, et al., 2014). Il supporto fornito dalle interfacce utente agli operatori garantisce un importante vantaggio per la flessibilità delle risorse aziendali poiché questa tecnologia permette l'interscambiabilità tra gli operatori grazie al supporto offerto nell'esecuzione dei *task*, riducendo così la dipendenza dalla specializzazione del singolo dipendente per l'impresa.

1.3.9 Agumented Reality (AR)

La Realtà Aumentata (*AR*) è una delle tecnologie abilitanti l'implementazione della *Smart factory* in quanto permette di riprodurre gli elementi virtuali nel mondo reale e come accennato al paragrafo precedente, è capace di garantire importanti vantaggi per la manutenzione preventiva, anche se è più in generale considerata un supporto fondamentale nell'ottica di una crescita dell'efficienza delle attività svolte dall'operatore.

Tralasciando per un momento l'ambito industriale, dove gli sbocchi applicativi sono ancora poco utilizzati, la realtà aumentata così come la realtà virtuale (*VR*) ha già mostrato il suo potenziale in altri ambiti; soprattutto lato *consumer*. Le applicazioni alle quali si fa riferimento sono sicuramente le piattaforme di videogiochi che utilizzando maggiormente la *VR* o anche le numerose App dedicate agli *store* virtuali di molte case di moda e arredamento di interni, le quali offrono il grande vantaggio di poter visualizzare un capo ed indossarlo virtualmente, così come avere la possibilità di arredare e verificare l'adattabilità di un oggetto di arredamento all'interno di un immobile, migliorando così la *customer experience* per l'acquisto on-line.

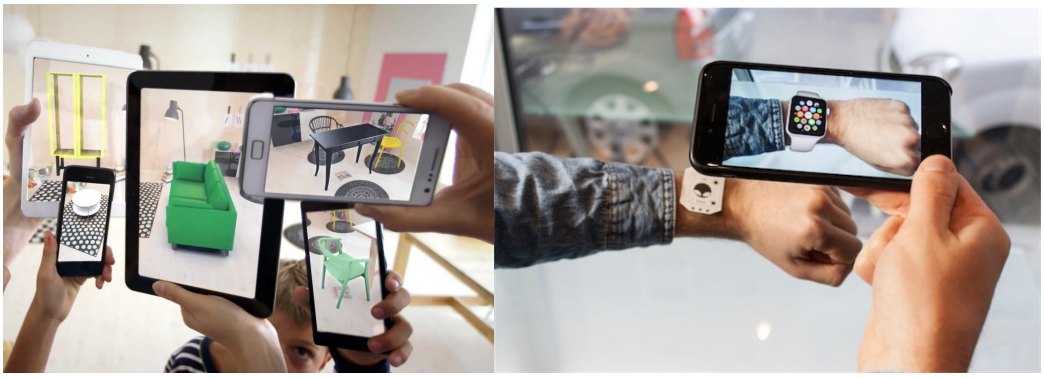


Figura 26 - Esempi di applicazioni VR (www.macitynet.it)

Ritornando alle tematiche dello *smart manufacturing*, la realtà aumentata può essere considerata la tecnologia chiave per migliorare il trasferimento di informazioni dal mondo digitale a quello fisico dell'operatore intelligente in modo non intrusivo (Romero, et al., 2016).

Michel Porter, nel corso del Word Business Forum di Milano del 2017, ha definito l'AR come la "*great equalizer*" delle tecnologie digitali, la "parificatrice" tra uomo e macchina. *«Aiuterà l'uomo a colmare il gap tra mondo digitale e mondo fisico, e*

amplificherà le sue capacità permettendogli di capitalizzare totalmente i benefici della trasformazione digitale, assimilando informazioni e utilizzando macchine fisiche e intelligenza artificiale senza la lunga, sofisticata e costosa formazione scientifica e tecnica che fino a oggi è stata necessaria» (Lazzarin, 2018).

Affinché possa aver accesso a tale tecnologia l'operatore deve indossare un display posto sulla propria testa, detto visore, ed in base al principio di creazione dell'immagine all'interno di questo schermo l'*AR* è definita *Optical-See-Through*, se gli oggetti virtuali combinati ai reali vengono visualizzati attraverso un combinatore di immagini che si trova nell'asse visivo dell'utente, oppure *Video-See-Through* se il vero contorno dell'utente viene catturato da una videocamera e quindi il flusso video arricchito con oggetti virtuali viene visualizzato attraverso un monitor di occlusione posizionato di fronte agli occhi dell'utente.

La decisione di implementare o meno una nuova tecnologia è sempre determinata dai vantaggi ottenibili e per questa tecnologia gli studi sostenuti, da Saaski et al. e S. J. Henderson et al., hanno dimostrato che grazie ad una significativa riduzione dei tempi di ciclo ed una minore possibilità di errore, le prestazioni degli operatori e di conseguenza dei processi analizzati mostrano un miglioramento del 50%.
La Realtà Aumentata, come possiamo vedere dalle seguenti immagini relative ad una sua applicazione, permette quindi:

• Identificazione delle macchine e dei loro componenti
• Stato dei componenti della macchina e dei sottogruppi
• Informazioni sulla cronologia dei precedenti processi di manutenzione (data e ora dell'operazione di manutenzione, causa, squadra tecnica ecc.)
• Informazioni sull'inventario di componenti, fornitori, prezzi
• Libreria tecnica (manuali utente, manuali tecnici, sicurezza sul lavoro ecc.)
• Libreria multimediale con video clip sulla manutenzione
• Applicazione avanzata di videoconferenza per il supporto remoto

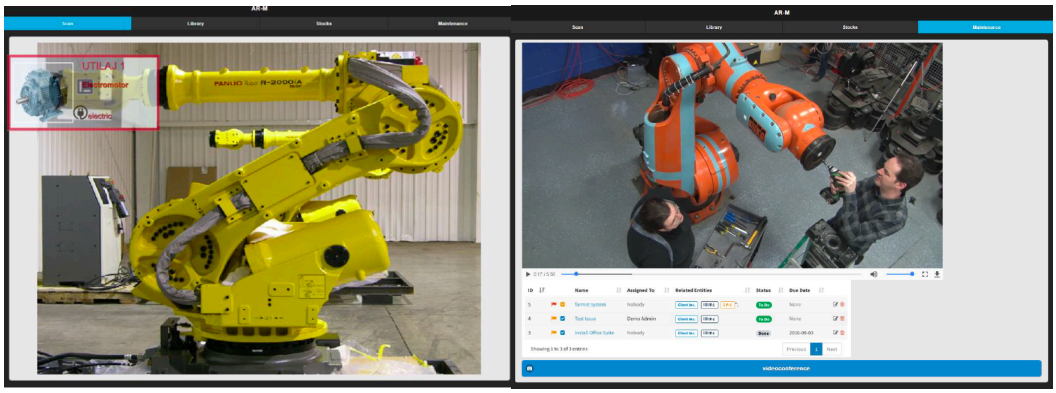


Figura 27 - Esempi di applicazioni industriali di AR

Queste caratteristiche, combinate ai vantaggi ottenibili dalle altre tecnologie analizzate come *IoT, Data Analysis*, sensori *CPS* e *HMI*, permettono la crescita dell'efficienza aziendale a più livelli.

Gli operatori riescono ad avere accessibilità immediata ad informazioni supplementari sia per il regolare svolgimento di *task* ordinari, come ad esempio le indicazioni di parti e strumenti necessari all'assemblaggio di un componente o un prodotto finito (Al-Ahmari, et al., 2016), che per attività straordinarie come lavorazioni più complesse ed inusuali, permettendo all'azienda di reagire in tempo reale, senza sprechi di tempo e denaro, poiché non c'è più la necessità di dover ricorrere a società esterne o professionisti specializzati, ma possono continuare a far affidamento esclusivamente sui propri operatori (Al-Ahmari, et al., 2018).

Inoltre, la tecnologia AR può essere sfruttata in operazioni di medio livello come *Manufacturing Execution Systems (MES)*, nuove simulazioni di linee di produzione e grandi controlli di qualità basati sui dati e su livelli più alti come i sistemi *Enterprise Resource Planning (ERP)*; a livello di macchina, ridefinendo la manutenzione e la riparazione delle apparecchiature; mentre a livello operativo e aziendale, l'*AR* consente ai responsabili della produzione di visualizzare gli indicatori *KPI* di produzione e avere una panoramica trasversale delle workstation e delle linee di produzione in tempo reale per il monitoraggio, l'identificazione, l'analisi, la diagnosi e la risoluzione di problemi e difetti (Deac et al., 2017).

2 ANALISI DELLA LETTERATURA, LE NUOVE PROSPETTIVE DEL MERCATO DEL LAVORO ED I NUOVI MODELLI DI BUSINESS

In questo capitolo verranno descritte le modalità di ricerca utilizzate per raccogliere e riportare i fattori determinanti l'affermazione della *Digital Supply Chain*, lo stato dell'arte degli strumenti a supporto di questo scenario rivoluzionario e l'impatto avuto fino ad oggi sul settore manifatturiero italiano, con alcuni esempi tratti dalla letteratura. A questo punto possono essere definiti i potenziali passi futuri, come può cambiare il mondo del lavoro, i nuovi confini dell'impresa ed il nuovo design di molte catene del valore. Sulla base di quanto definito dai principali studi analizzati, si determina un gap della ricerca, domande alle quali non è stata data ancora una risposta e che si proveranno a trovare nei capitoli successivi.

2.1 ANALISI DELLA LETTERATURA

L'analisi della letteratura, finalizzata allo studio delle tematiche teoriche riguardanti la Digital Supply Chain, parte dagli aspetti più generici della Quarta rivoluzione industriale fino ad addentrarsi nel dettaglio delle singole tecnologie ed aspetti determinanti il nuovo paradigma industriale. La metodologia utilizzata, particolarmente performante per lo studio delle tematiche emergenti e l'individuazione dei loro trend, segue l'approccio dinamico di "Systematic Literature Network Analysis (SLNA)" introdotto da Colicchia e Strozzi (Strozzi, et al., 2017), che combina la revisione sistematica della letteratura con l'analisi della rete bibliografica.

Coerentemente a questo approccio sistematico sono stati quindi consultati una serie di articoli trattanti le tematiche generali dell'Industria 4.0 e *Smart Supply Chain*, l'origine del termine, gli aspetti caratterizzanti e le dinamiche socio-culturali che ne hanno determinato l'affermazione; per poi scendere nel dettaglio delle singole tecnologie con l'analisi della rete bibliografica, fino ad arrivare alla definizione dei nuovi modelli imprenditoriali e all'analisi delle nuove prospettive per il mondo del lavoro. Alla fine, tirando le somme, per definire queste tematiche sono stati consultati 68 articoli scientifici.

2.1.1 Scopo dell'analisi

In linea con la metodologia di ricerca sistematica, prima di iniziare ogni tipologia di studio approfondito, è stato definito lo scopo dell'analisi che mira a conoscere dettagliatamente tutte quelle che sono le caratteristiche della *Smart Supply Chain*, nota anche come *Digital Supply Chain*, al fine di determinare gli strumenti e le tecnologie implementabili nella catena del valore di Tecfi, azienda oggetto del caso studio.

Prima di definire gli aspetti fondamentali della *Smart Supply Chain,* è stata sin da subito molto chiara l'associazione con la macro-tematica dell'Industria 4.0; per questo motivo le prime ricerche sono state condotte per cercare di definire i trend che stanno determinando questo cambiamento. In questa fase più che concentrarsi su articoli molto specifici di impostazione scientifica, si è preferito sfruttare le ricerche e gli studi effettuati dalle società di consulenza McKinsey e BostonConsultingGroup, l'osservatorio *Digital Innovation* del Politecnico di Milano e le introduzioni ad ampi studi come il libro di (Beltrametti, et al., 2017) "La fabbrica connessa" e l'indagine conoscitiva del Governo italiano sull'Industria 4.0 del giungo 2016 [16]. Queste analisi hanno individuato alla base di queste nuove tendenze, la digitalizzazione, che se per le imprese rappresenta il futuro, per il consumatore finale sono il presente e sono la causa del cambiamento dei suoi bisogni; sempre più spinti verso la customizzazione e la velocità, in termini di acquisto, di consegna ed obsolescenza del prodotto, che per le imprese si traducono in cicli di vita più brevi, incremento di volatilità della domanda, riduzione della dimensione dei lotti di produzione ed aumento della complessità di gestione delle *operation*. Questi trend hanno così determinato la ristrutturazione delle catene del valore, da ridisegnare, per soddisfare il consumatore finale.

2.1.2 Ricerca tematiche Supply Chain e le sue evoluzioni nel tempo

Dopo aver definito e compreso le cause della rivoluzione digitale, lo studio è stato veicolato verso la *Supply Chain*, tradizionale e digitale, in modo da conoscere la definizione delle caratteristiche principali e la sua evoluzione nel tempo, in funzione degli aspetti endogeni ed esogeni.

Lo studio è avvenuto per parole chiave e dovendo valutare l'evoluzione degli aspetti legati alla catena del valore si è proceduto con una particolare attenzione alla data di pubblicazione, in modo da consultare gli articoli trattanti le stesse tematiche in ordine cronologico, o almeno con non troppa discrepanza temporale. In questo caso lo studio, essendo cresciuta la specificità delle argomentazioni, è stato condotto attraverso la consultazione diretta dei *database* di ricerca IEEE Explore, ScienceDirect, Emerald Insight, Tailor&Francis e SpringerLink, ai quali si è avuto libero accesso mediante la biblioteca multimediale del Politecnico di Torino. Le parole chiave oggetto di questa ricerca sono state: *Supply Chain, Supply Chain Management, Smart Supply Chain, Smart Supply Chain Management,* nella loro traduzione italiana ed attraverso tutti i sinonimi del termine *smart,* riuscendo a raccogliere 14 articoli, così come è visibile in tabella 2. In aggiunta a quanto rintracciato dai *database* appena citati è stata trovata un ulteriore fonte attraverso *GoogleScholar*, una tesi di laurea intitolata "*L'evoluzione nella dimensione organizzativa della Supply Chain*", (Pinna, 2006), e dalla quale sono state riportate la definizione e le caratteristiche fondamentali della catena di fornitura tradizionale. L'analisi di questi articoli ha però evidenziato un'attenzione crescente nei confronti del cliente finale ed una sempre maggiore centralità delle sue esigenze da soddisfare, le quali hanno spinto le catene del valore a cercare sempre più l'integrazione come affermato tra gli altri da (Wu, et al., 2016), (Wong et al., 2012), (Flynn et al., 2010), (O'Learly-Kelly, et al., 2002) e da (Huang, et al., 2014); con quest'ultimo che ritiene il concetto di integrazione una determinante imprescindibile per la competitività dell'intera catena. Il ruolo fondamentale della *Supply Chain*, la necessità di organizzarla come fosse un'unica entità al fine di massimizzare la *value creation* (Seo, et al., 2014), nonché la necessità di una gestione *lean* (Burgess, et al., 2006) ed un flusso continuo e lineare di informazioni (Kumar, et al., 2012), ha determinato la nascita di una nuova disciplina di gestione dell'intera catena, la *Supply Chain Management*, al quale con il passare degli anni si aggiungerà l'attributo *smart*. Date le caratteristiche, appena citate, determinanti il successo delle catene del valore e considerati i cambiamenti avvenuti negli ultimi anni nei bisogni del consumatore, (Wu, et al., 2016) definisce le nuove prerogative fondamentali per una *Smart Supply Chain Management* di successo.

Tabella 2 - Fonti tematiche Supply Chain

Autore e Anno di Pubblicazione	Tematica
O'Leary-Kelly e Flores, 2002	Come impatta la condivisione delle scelte lungo la *supply chain* sulle performance della singola azienda e dell'intera catena
Handfield e Nichols, 2002	L'incremento della *customer satisfaction* dovuta alla condivisione delle informazioni tra gli attori della catena
Tunisini, 2003	Le strategie di posizionamento e di collaborazione affinché ogni impresa possa creare il maggior valore per il cliente finale
Pinna, 2006	Le caratteristiche della *supply chain* tradizione e come questa si sia evoluta negli anni
Burgess et al., 2006	*Supply Chain Mangament* : le dinamiche che hanno portato alla nascita di questa disciplina e perché sta assumendo sempre più un ruolo fondamentale a livello aziendale
Flynn et al., 2010	Il concetto di integrazione, inteso come qualità delle collaborazioni tra i vari attori della catena
Butner, 2010	È tra i primi ad attribuire il termine *smart* alla *supply chain*, definendo le sue dove nuove caratteristiche: intelligente ed interconnessa
Wong et al., 2012	L'integrazione della *supply chain* è la chiave di incremento dell'efficienza, in grado di ridurre il *gap* tra previsione e domanda reale
Kumar e Pugazhendhi, 2012	La correlazione positiva tra l'integrazione lungo la catena e le performance dei fornitori; anche se l'impatto positivo si riduce all'aumentare dell'incertezza della domanda
Savitz, 2013	L'automatizzazione ha reso tutto più veloce, quindi dopo i processi, la condivisione delle informazioni è lo step necessario a rendere le imprese più efficienti
Huang et al., 2014	Più cresce l'incertezza della domanda, più sono evidenti i benefici della collaborazione e l'integrazione della catena, tali da garantire la giusta flessibilità per reagire ai cambiamenti dei bisogni del consumatore
Holmström e Partanen, 2014	Come cambiano le relazioni tra i fornitori nelle nuove dinamiche di *smart supply chain* e le nuove dinamiche dei servizi logistici
Seo et al., 2014	L'impatto positivo delle innovazioni *smart* sull'integrazione e le performance della catena del valore
Wu et al., 2016	Vengono definite ed approfondite le 5 nuove caratteristiche (interconnessa, intelligente, automatizzata, integrata ed innovativa) della *smart supply chain*

2.1.3 Ricerca strumenti a supporto della Digital Supply Chain

Sulla base degli aspetti critici da gestire per le catene del valore (Wu, et al., 2016) ed i "nuovi" requisiti del cliente da soddisfare, sono state definite le nove tecnologie abilitanti la *Digital Supply Chain* sulla base degli studi "*Industria 4.0: le 6 tecnologie abilitanti secondo il Politecnico di Milano"* (Lazzarin, 2016) e "*Industry 4.0: How to navigate digitalization of the manufacturing sector*" (Wee, et al., 2015). La ricerca per la descrizione, lo stato dell'arte, le applicazioni presenti e future di queste tecnologie, ha seguito un approccio sistematico, sulla falsa riga di quanto visto al paragrafo precedente con la ricerca per parole chiave (ad es. *Big Data, Internet of Things, Cloud Computing, Digital Manufacturing, Smart Warehouse, Smart Logistics, Additive Manufacturing*, oltre a tutti i nomi delle singole tecnologie e sinonimi), oltre che l'approccio della rete bibliografica, basato quindi sull'analisi delle citazioni presenti in questi studi scientifici, per risalire ad ulteriori fonti e come riassunto nella seguente tabella, sono stati trovati 47 articoli. In aggiunta, dato l'elevato ritmo innovativo di queste tecnologie abilitanti, lo stato dell'arte delle applicazioni in continuo aggiornamento, così come il livello di performance raggiunto, è stato fondamentale approfondire lo studio attraverso i blog trattanti le tecnologie dell'industria 4.0 (Digital4, Industriaitaliana, Internet4things, Additivemanufacturing, blockchain, Publicpolicy, Justprint3d).

Tabella 3 - Fonti tecnologie Digital Supply Chain

CPS	IoT	Big Data	Cloud Computing	Blockchain	AM	Advanced Automation	Advanced HMI	AR
Boschi et al., 2017	Ashton, 2009	Ylijoi e Porras, 2018	Liu, 2013	Benedetti, 2016	Hull, 1986	Peshkin, 2001	Gong, 2009	Romero et Al., 2016
Lee E., 2006	Beltranetti et al., 2017	Raman et al., 2018	Abaker et al., 2014	Bellini, 2019	Berger, 2013	Bogue, 2016	Motlagh et al., 2014	Porter, 2017
Amberg, 2015	Bellini, 2018	Cox, 1997	Mell et al., 2011	Haber e Stornetta, 1991	Durach, 2017	Bloss, 2016	Yazdi, 2014	Al-Ahmari, 2016
Lee J. et al., 2014	Trappey, 2017	NIST, 2015	Aceto et al. 2013	Greebel, 2015	The Economist, 2018			Al-Ahmari, 2018
	Domingo, 2012	Abaker et al., 2014		Conte et al., 2017	D'Aveni 2015			Deac et al., 2017
	Wu et al., 2010	Morfino, 2017		Yaga et al., 2018	Levchenko, 2015			
	Lee e Lee, 2015			Iansiti, 2017	Ford, 2016			
	Ben-Daya et al., 2017			Nakamoto, 2008				

2.2 STUDIO TREND DETERMINATI DALLA SMART SUPPLY CHAIN

Durante le attività di ricerca delle tecnologie abilitanti la *Digital Supply Chain*, oltre agli esempi tratti dalla letteratura, analizzati al paragrafo 2.2.1, l'analisi della rete bibliografica ha permesso di individuare ed approfondire due ulteriori aspetti conseguenti le nuove dinamiche della rivoluzione digitale e le cui tematiche sono state affrontate nei paragrafi 2.2.3 e 2.2.2; trattanti rispettivamente i nuovi modelli di business e la nuove prospettive del lavoro, cioè la definizione di nuove modalità di vendita e la ristrutturazione dei rapporti tra fornitori e clienti oltre che la nuova dimensione assunta dall'operaio, data la crescente digitalizzazione delle proprie mansioni.

2.2.1 Esempi tratti dalla letteratura

In rete, attraverso Google Scholar, durante le attività di ricerca sono stati consultati i seguenti studi "Industria 4.0: Uomini e macchine nella fabbrica digitale" (Magone, et al., 2016) e "La fabbrica connessa" (Beltrametti, et al., 2017), che descrivono la situazione italiana riguardo l'implementazione delle tecnologie costituenti l'Industria 4.0 e grazie ai quali è stato possibile venire a conoscenza di realtà innovative che hanno già implementato una o più delle tecnologie presentate al capitolo 1.

Un esempio è l'Avio Aero di Cameri in provincia di Novara dove quindici giovani tecnici ed ingegneri, mediante sessanta stampanti tridimensionali, producono le palette della turbina del Boeing 787. O, altrettanto spettacolare, anche per l'antica tradizione da cui proviene, l'Alstom di Savigliano (Cuneo), dove si assembla il treno "Pendolino", un concentrato di tecnologia in cinquantamila componenti e novecentomila pezzi: le informazioni vengono trasferite via tablet e monitor *touchscreen* alle stazioni di montaggio con istruzioni semplici, scritte in un inglese elementare (Magone, et al., 2016).

Gli esempi appena citati sono molto rappresentativi il panorama attuale, poiché da questi si evincono le opportunità offerte dall'innovazione e la necessità di sfruttarle per sostenere la creazione del valore d'impresa. Dal primo caso si evince la capacità di fare impresa sfruttando le nuove opportunità offerte dalle tecnologie innovative,

in questo caso l'*Additive Manufacturin*g ha permesso di creare un vantaggio competitivo per l'Avio Aero sfruttando la possibilità di produrre le palette componenti le turbine di un peso inferiore ai concorrenti, in impianti produttivi fisicamente molto più piccoli, generando CAPEX più bassi, oltre che una drastica riduzione degli scarti della produzione (nel processo fusorio occorre introdurre 4 kg di materiale grezzo per ottenere 1 kg di prodotto mentre per l'*additive manufacturing* il rapporto è 1,5 kg a 1 kg) traducibili in margini più elevati a causa della riduzione dei costi di materia prima.

L'esempio dell'Alstom, impresa consolidata ed operante nel settore della costruzione dei treni dal 1928 con i suoi 32.000 dipendenti, ha invece dimostrato la giusta attenzione ai cambiamenti esogeni e la necessaria flessibilità che gli hanno permesso di sfruttare la Realtà Aumentata per migliorare le attività di assemblaggio. L'Alstom ha così garantito l'incremento dell'efficienza nell'esecuzione di queste attività attraverso una maggiore velocità di esecuzione ed una riduzione degli errori, permettendosi inoltre di assumere dipendenti su commessa ed ottenere così risultati profittevoli, considerata la volatilità dei carichi di lavoro dovuta alla struttura del mercato. Attraverso quest'innovazione la società è riuscita a standardizzare un lavoro che ha da sempre richiesto importanti *skills* per l'interpretazione dei disegni, nel trasferimento dell'informazione dall'*engeneering* al *manufacturing*.

2.2.2 Come cambia il mondo del lavoro

L'affermazione dello *smart manufacturing* porta con sé in dote la nuova definizione di *smart worker*. Le innovazioni introdotte al Capitolo 1, tra cui le tecnologie sottostanti gli impianti produttivi, stanno cambiando la concezione comune dell'operaio che vede ormai accrescere sempre più il grado di specializzazione delle mansioni di cui è incaricato. L'incremento della complessità e le nuove dinamiche dei processi e dei prodotti, richiedono all'operaio livelli di qualifica superiori rispetto alle usuali mansioni ripetitive (Schuh, et al., 2015).

Secondo uno studio di Mckinsey, *"Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation"* (Manyika, et al., 2017), riguardante l'evoluzione della forza lavoro in seguito alla rivoluzione digitale, entro il 2030 il 60% degli occupati vedrà automatizzato il 30% dei propri *task;* più in particolare, andando ad analizzare la figura 28, vediamo che questo dato è ancora più rilevante per i paesi con l'economia

più avanzata. Il grafico ci mostra che in questi paesi, entro i prossimi venti anni, il 20-30% delle attuali ore lavorative della forza lavoro saranno completamente automatizzate e quindi il tutto è traducibile in una contrazione dell'offerta di lavoro. Questo andamento negativo è però fronteggiato dalle prospettive positive che prevedono la nascita di nuove tipologie ed opportunità di lavoro, offerte dall'innovazione e dalle nuove tecnologie, tanto è vero che negli Stati Uniti ogni anno lo 0,56% dei nuovi occupati svolge nuovi lavori, quindi il 18% dei lavoratori statunitensi oggi ricoprono posizioni lavorative che nel 1980 non esistevano.

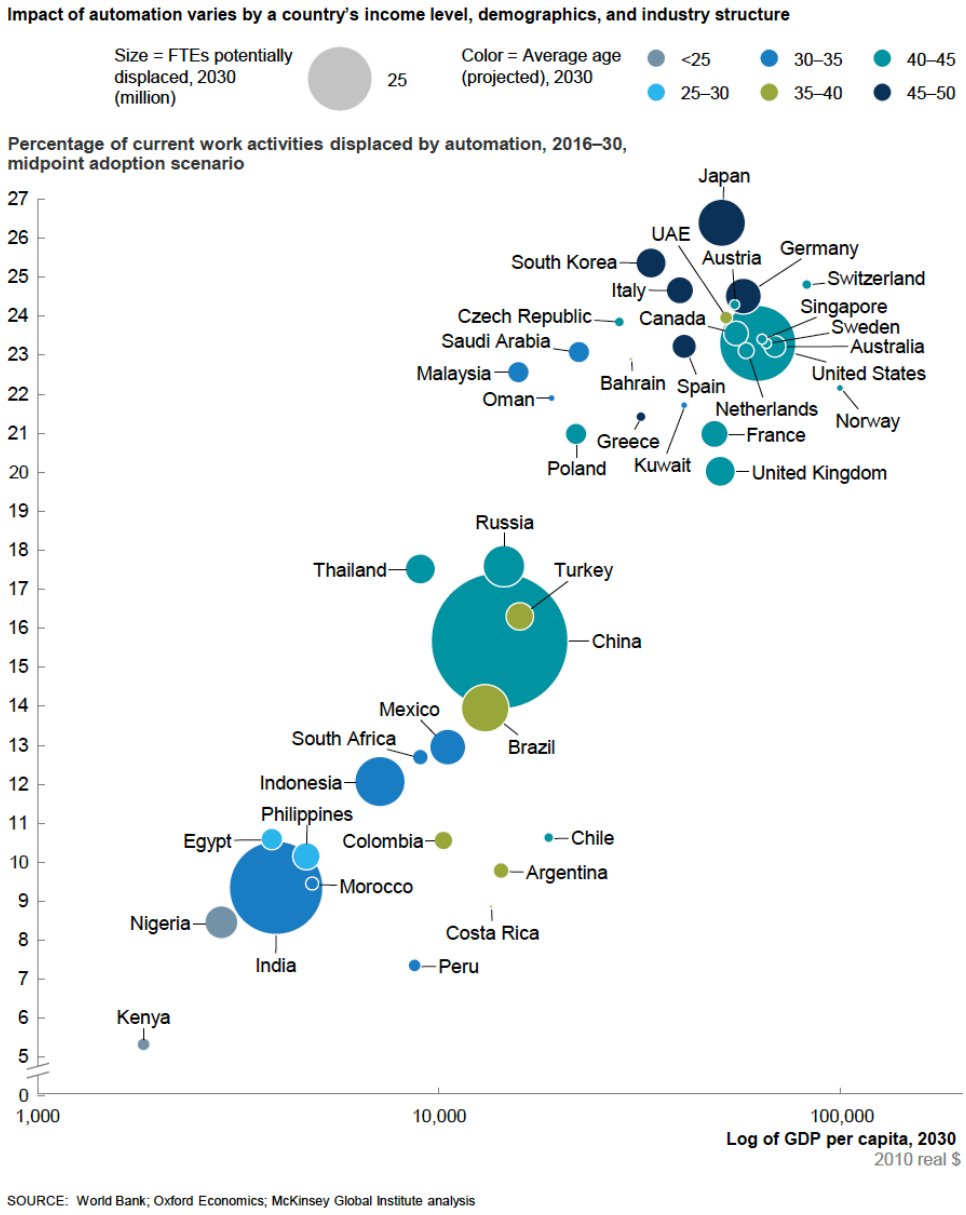


Figura 28 - L'evoluzione dell'automazione sulla forza lavoro entro il 2030 (www.mckinsey.com)

Un altro spunto interessante, presente nello studio sopracitato di McKinsey, è il dato riguardante il cambio di categoria occupazionale che vivranno il 14% dei

lavoratori globali, ma riducendo questo dato ai paesi maggiormente evoluti, come possiamo vedere la figura 29, 1/3 degli occupati tra USA, Germania e Giappone dovranno sviluppare nuove *skills* altamente qualificanti capaci non solo di far fronte a prodotti e processi rinnovabili, ma anche in grado di avere la supervisione e le capacità di risoluzione di problemi meccatronici, legati quindi all'elettronica oltre che agli aspetti meccanici (Schuh, et al., 2015).Nella fabbrica del futuro l'operaio è perfettamente integrato nel sistema produttivo, poiché grazie alle tecnologie di interfaccia *hardware* e *software* e gli strumenti analitici *real-time* a disposizione, avrà la maggiore conoscenza dei macchinari sotto la sua responsabilità e per questo dovrà essere lui stesso il fautore delle principali idee innovative per migliorare i prodotti ed i processi (Mabkhot, et al., 2018).

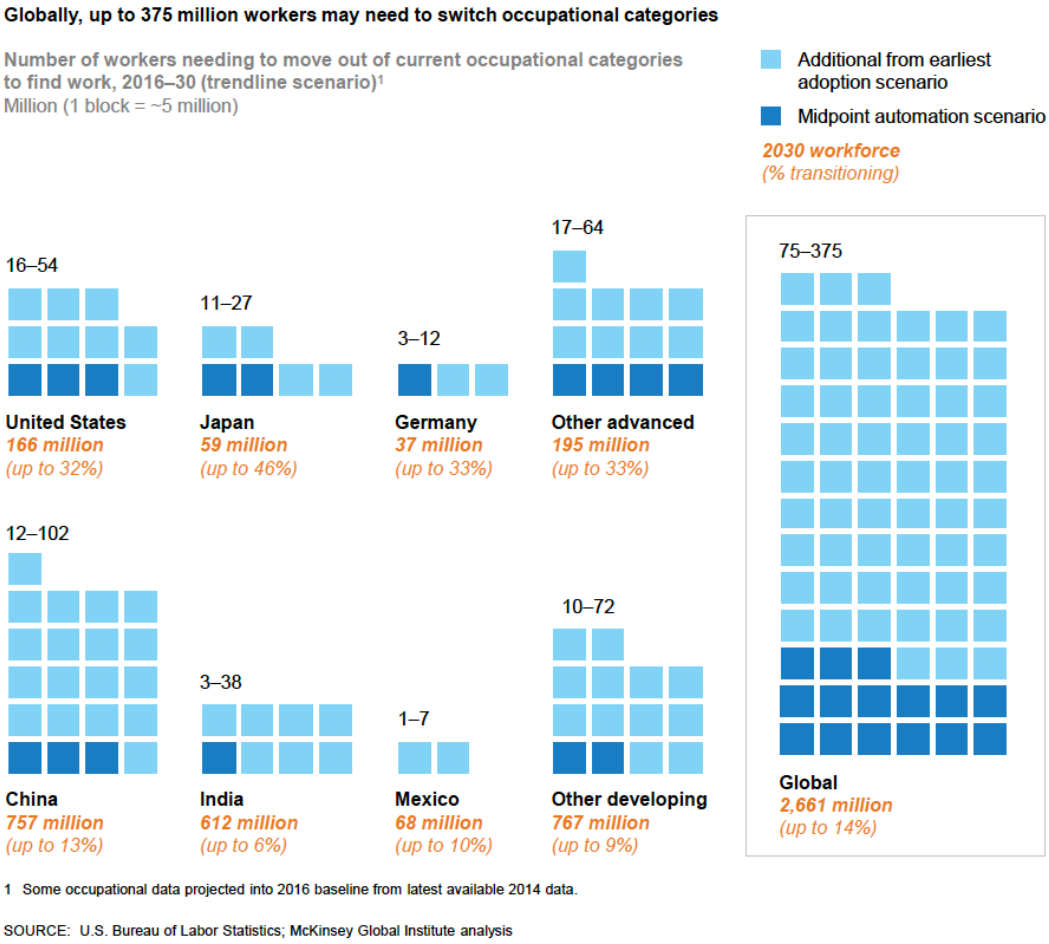


Figura 29 - Come cambierà l'ambito occupazionale dei lavoratori di oggi entro il 2030 (www.mckinsey.com)

È quindi fondamentale che lo *smart worker* abbia delle spiccate *Digital Soft Skills* poiché oltre alle tecnologie appena descritte, come visto dagli esempi delle applicazioni industriali dell'*Agumented Reality,* le *Human Machine Interface* o

Advanced Automation, la fabbrica intelligente vede rivoluzionati anche gli strumenti a supporto del lavoratore che quindi si interfaccerà sempre più ai modelli e strumenti digitali per l'esecuzione di mansioni ordinarie e straordinarie. In questo panorama di cambiamento sarà fondamentale il ruolo delle istituzioni statali per la formazione della nuova forza lavoro, oltre che quello delle imprese stesse, poiché al fine di mantenere o migliorare il livello occupazionale globale è loro compito investire ed innovare non solo in ambito tecnologico ma anche per sviluppare un valevole "piano adattivo di gestione del cambiamento" (Schwartz, et al., 2017). Questo piano deve quindi prevedere il giusto grado di innovazione, investimenti e formazione che combinati alla conseguente crescita economica, possano garantire un numero sufficiente di posti di lavoro tali da compensare così l'impatto dell'automazione. L'aspetto più critico, nonché la sfida più provante, è sicuramente garantire che i lavoratori vecchi e nuovi abbiano le competenze e il supporto necessario affinché siano pronti al cambiamento. I paesi che non riusciranno a gestire questa transizione potrebbero vedere un aumento della disoccupazione ed una depressione dei salari.

Infine, un ulteriore aspetto positivo che la rivoluzione digitale può garantire, in controtendenza con quanto visto nell'ultimo decennio, è il *reshoring* di molte lavorazioni o fasi produttive che in questi anni, spinte dalla standardizzazione, erano state trasferite in *outsourcing* verso i paesi a basso costo del lavoro. Dato che le produzioni ad alto contenuto tecnologico necessitano ancora di ampia ottimizzazione, i processi richiedono frequenti modifiche ed aggiornamenti, per questo sono difficilmente esternalizzabili (Planzi, et al., 2017) e fanno così crescere l'offerta interna di occupazione. Da questa situazione potrebbero trarre vantaggio soprattutto le nuove generazioni di lavoratori poiché sono più *confident* con le tecnologie 4.0, hanno una *forma mentis* tutta da costruire e non sono abituati a svolgere il proprio lavoro secondo *routines* consolidate, considerate ormai superate.

2.2.3 I nuovi modelli imprenditoriali

La quarta rivoluzione industriale non sta solo evolvendo l'ambito manifatturiero, ma la potenza della rivoluzione digitale e le tecnologie a supporto stanno contribuendo alla nascita di nuovi modelli imprenditoriali, basati sull'applicazione di nuovi rapporti contrattuali tra fornitori e clienti.

Secondo i dati raccolti nel corso di un sondaggio di McKinsey del 2015 (Wee, et al., 2015), rivolto ai fornitori dell'industria manifatturiera, l'85% di questi prevedevano l'imminente ingresso di nuovi *competitor* capaci di sfruttare i vantaggi offerti dalle nuove tecnologie e l'affermarsi di modelli imprenditoriali sostenibili.

L'ampia diffusione di alcune tecnologie come la sensoristica, i *Big Data*, l'*IoT* e *Cloud Computing* hanno permesso di raccogliere, utilizzare e condividere le informazioni; favorendo così la riduzione o la completa eliminazione di alcune asimmetrie informative tali da determinare l'affermazione di quattro nuovi modelli di business: il *pay-by-usage,* le Piattaforme, l'*IPR* ed i *Data driven*.

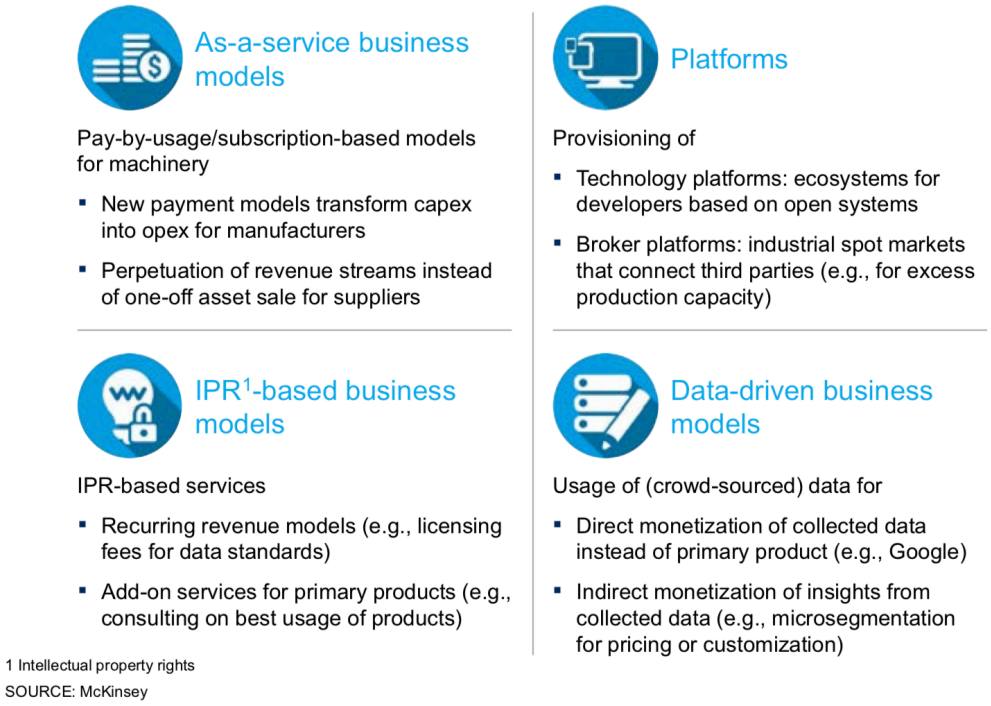


Figura 30 - I 4 nuovi modelli imprenditoriali individuati da McKinsey (www.mckinsey.com)

I PRINCIPALI QUATTRO MODELLI IMPRENDITORIALI EMERGENTI

Tra i primi ad usare questo nuovo modello *Pay-by-usage* c'è stata la Rolls-Royce, fornitrice di motori per l'aeronautica, la cui remunerazione dipende delle performance e dai parametri di produttività del cliente, per il quale il costo di fornitura del motore passa da CAPEX ad OPEX, alleggerendo così notevolmente la struttura dei costi. Tutto ciò è stato possibile poiché sia il fornitore che il cliente hanno accesso ai dati di funzionamento del motore e quindi il fornitore stesso, grazie al continuo monitoraggio dei dati di funzionamento ed alla profonda conoscenza del prodotto, ha la possibilità di prevenire eventuali guasti, migliorare le performance e così incrementare la *customer satisfaction*; trasformando in questo modo l'acquisto occasionale in relazioni di lunga durata.

Il secondo modello di business emergente sono le Piattaforme, "che applicano al contesto manifatturiero il modello informatico di *Open-source"* (Baur, et al., 2015), e per i quali i prodotti, i servizi e le informazioni possono essere scambiate attraverso i network determinati dai sistemi IT. Le Piattaforme possono essere di due tipologie: Interattive o tecnologiche; le prime non sono altro che un *marketplace* e quindi mettono in contatto la domanda e l'offerta, mentre la seconda è un veicolo di promozione del prodotto in sé ed un'opportunità di sviluppo di beni o servizi complementari. Un esempio di Piattaforma Interattiva è fornito dal progetto pilota sviluppato dal produttore di stampanti 3D, SLM Solution, ed Atos fornitore di servizi IT; i quali sfruttano la rete Atos per raccogliere gli ordini da parte dei clienti, i quali chiedono la fornitura di un pezzo in 3D attraverso i progetti in formato CAD, che sarà poi prodotto dall'impianto SLM Solution più vicino al cliente e quindi spedito. Nvidia Ecosystem è invece il progetto pioniere per la realizzazione di una Piattaforma Tecnologica, pensata dal produttore di tecnologie e processori grafici Nvidia, il quale ha costituito un ecosistema nel quale mette a disposizione tutte le proprie risorse e tecnologie a servizio di sviluppatori esterni affinché questi ultimi possano sviluppare prodotti o start-up complementari all'offerta Nvidia, in modo da poter incrementare le economie di rete dei propri utilizzatori ed accrescere la *brand reputation*.

Un ulteriore modello di business è l'IPR, il quale è strettamente legato al valore sempre maggiore assunto dal *software* ed alla nuova concezione dei dati come materia prima. L'azienda Qualcomm ha determinato il proprio successo attraverso

la definizione dello standard di connessione 3G, arrivando così a generare un terzo dei propri profitti dalle attività di licenza dello standard.

Infine, troviamo il *Data-driven business model*, il modello di business basato sulla monetizzazione diretta o indiretta delle informazioni estraibili dalla raccolta e l'analisi dei dati. Chiari esempi di monetizzazione diretta dei dati sono senza dubbio Google e Facebook, i quali utilizzano le informazioni delle ricerche dei propri utilizzatori per rivenderli alle imprese, le quali possono così svolgere politiche di pubblicità mirata. Possono invece essere un esempio di monetizzazione indiretta i dati di funzionamento raccolti dalle aziende costruttrici di macchinari, i quali sulla base della *data analystics* possono migliorare le performance dei loro prodotti oltre che fornire servizi complementari di grande valore aggiunto per i propri clienti, come ad esempio la manutenzione preventiva che evita il fermo macchina straordinario e spesso riduce il costo diretto dell'intervento di riparazione. In questo modo aumenta la soddisfazione del cliente e quindi la monetizzazione indiretta per l'azienda fornitrice (Wee, et al., 2015).

Contestualmente alla nascita di nuovi modelli di business, le tecnologie dell'industria 4.0 hanno determinato un contesto industriale più complesso ed incerto poiché molte *value-chain* hanno vissuto un processo di disintegrazione verticale, determinando quindi opportunità vantaggiose per le imprese neonate e flessibili capaci di sfruttare il cambiamento. Il livello di specializzazione e le competenze tecnologiche di queste piccole imprese gli hanno permesso di assumere una posizione di vantaggio rispetto alle società consolidate, molto pesanti strutturalmente e per questo più lente nel recepire ed adattarsi al cambiamento. Questa nuova conformazione dell'intera catena ha quindi definito una nuova gerarchia di appropriazione del valore, capace di avvantaggiare le realtà piccole a discapito degli *incumbent.*

2.3 GAP DELLA LETTERATURA

A questo punto, dopo l'ampia descrizione delle tecnologie abilitanti, le dinamiche determinanti l'affermazione e gli esempi reali di implementazione della *Digital Supply Chain*, può essere definito il gap della ricerca che questo studio ha l'obiettivo di colmare. Alcuni dei numerosi articoli analizzati presentano esempi di implementazione di tecnologie 4.0, ma molte di queste casistiche hanno come protagoniste imprese multinazionali oppure piccole-medie imprese neonate (Beltrametti, et al., 2017) (Magone, et al., 2016), per le quali il *core business* si focalizza su una o più tecnologie *digital*. Oltretutto questi esempi, essendo spesso contenuti in approfondimenti di specifiche tecnologie, sono principalmente concentrati sulle modalità di introduzione ed i conseguenti benefici garantiti dalla singola tecnologia. Durante la fase di ricerca e studio delle fonti bibliografiche, è stato inoltre individuato un altro *trend* facente riferimento al potenziale impatto *distruptive* che queste tecnologie possono avere sulle *routines* organizzative e per le *skills* richieste ai lavoratori, in particolare dei cosiddetti "colletti blu" (Wilkesmann e Wilkesmann, 2017).

Questa tesi quindi, analizzato il processo di preparazione dell'ordine di una media impresa italiana, ha l'obiettivo di individuare le tecnologie e le modalità di implementazione affinché le criticità riscontrate possano essere efficientemente gestite, coerentemente con i vincoli economici ed organizzativi della realtà in esame. Nel dettaglio, questo studio, dimostrerà che uno o più processi aziendali possono subire una trasformazione digitale tale da migliorare i suoi rendimenti, senza richiedere investimenti troppo rischiosi per le dimensioni dell'impresa e senza stravolgere improvvisamente il *modus operandi* degli operatori. Lo studio ha quindi l'obiettivo di dimostrare come la *Digital Supply Chain* possa garantire un impatto positivo non solo per le imprese multinazionali o le *start-up*, bensì anche per le medio-imprese senza richiedere grossi stravolgimenti organizzativi e controllando l'impatto economico.

L'implementazione, a differenza delle casistiche analizzate per le grandi realtà industriali, seguirà quindi una logica incrementale, coerente con la disponibilità economica della realtà in esame e quanto più in linea con le *routines* maturate negli anni dai singoli operatori, al fine di aggirare i limiti individuati per l'implementazione della *DSC* ad una media impresa italiana.

3 LA TECFI SPA

Il terzo capitolo è stato pensato per introdurre la realtà aziendale oggetto del caso studio. In questa sezione si procederà quindi con il presentare la TECFI SpA facendo riferimento ai principali eventi storici caratterizzanti la sua esistenza, presentando nel dettaglio le strutture e l'organizzazione attuali, i prodotti offerti e le caratteristiche del mercato di riferimento, i clienti ed i fornitori.

3.1 LA STORIA

Tecfi SpA è una società italiana nata nel maggio del 1997 a Villaricca, provincia di Napoli, e specializzata nella progettazione, produzione, promozione e vendita di sistemi di fissaggio. Per i primi anni l'azienda si è occupata esclusivamente di attività commerciali, acquistando da fornitori terzi componenti e prodotti finiti che dopo essere stati assemblati e/o confezionati venivano venduti al mercato italiano, principalmente alla ferramenta al dettaglio oppure direttamente a grossisti e distributori di medie dimensioni. Il primo macchinario acquistato, data la natura commerciale dell'azienda, è stata una confezionatrice automatica nel '99; mentre invece i primi *assets* produttivi sono state due macchine tranciatrici per la produzione dei laminati, acquistate rispettivamente nel 2001 e nel 2003, avendo riscontrato un buon interesse dai clienti e non riuscendo a trovare un valido fornitore che potesse soddisfare la sua domanda di mercato. Nel 2005 l'azienda decide di trasferirsi all'interno di un'area industriale in prossimità dell'uscita autostradale di Capua, nel comune di Pastorano (CE), in un capannone di circa 4.400 m^2 (figura 31) al quale si aggiungerà un secondo di 1.700 m^2 (figura 32) l'anno successivo, lasciando la sede precedente di circa 1.000 m^2 per i limiti logistici dovuti principalmente allo scarso spazio di stoccaggio oltre che per la scomoda lontananza dall'uscita autostradale.

È però il 2011 l'anno della svolta strategica di Tecfi che decide di puntare forte sulla qualità dei prodotti e servizi offerti, iniziando l'espansione dei canali di vendita all'estero, ma soprattutto decidendo di investire sull'acquisizione di un terreno di 40.000 m^2 per la costruzione di un impianto produttivo all'avanguardia.

Grazie al supporto degli istituti bancari è stato realizzato un primo capannone di 13.000 m^2 (figura 33), nel 2013, ma soprattutto grazie ai circa 17 Milioni di fondi provenienti da un bando di InvItalia per le giovani realtà manifatturiere, che nel 2015 permettono di iniziare le acquisizioni dei macchinari produttivi che proiettano la Tecfi SpA in una nuova dimensione di azienda meccanica. Quest'ultimo investimento si può ritenere pressoché concluso alla fine del 2017, quando sono state ultimate tutte le principali linee produttive, nonostante nel 2018 ci siano state le acquisizioni di due ulteriori macchinari.

Un altro aspetto che contraddistingue l'azienda è sicuramente la responsabilità sociale intesa sia come rispetto dell'impatto ambientale, con la gestione ecosostenibile delle acque nere ed un importante impianto fotovoltaico (figura 31), che l'attenzione nei confronti dei propri dipendenti e delle loro famiglie; tanto è vero che è in via di completamento un miniparco con piante mediterranee ed uno zoo domestico per lo scarico di tensione, oltre ad essere in programma la costruzione di un asilo nido interno all'azienda.

Figura 31 - Stabilimento 1 con impianto fotovoltaico

Figura 32 - Stabilimento 2

Figura 33 - Stabilimento 3

3.2 GLI IMPIANTI PRODUTTIVI DELLA TECFI SPA

Nelle immagini di seguito riportate (Figura 33, 34 e 35), si possono vedere le linee produttive della Tecfi SpA ed alcuni dei componenti prodotti. Nel dettaglio vediamo, in Figura 33, l'impianto delle sei linee produttive per lo stampaggio ad iniezione dei materiali plastici, in grado di produrre componenti e prodotti finiti, partendo da polimeri di plastica, gomma e nylon.

In Figura 34 e 35 sono raffigurati i macchinari per la lavorazione dei materiali ferrosi e vediamo rispettivamente le sei linee automatiche delle macchine tranciatrici, adoperate per la deformazione ed il taglio del nastro laminato per la produzione di staffe, cappellotti ecc., e le due linee produttive per lo stampaggio della viteria, in grado deformare il filo in carbonio o in acciaio Inox per poi filettare il profilo ottenuto ed ottenere così la vite finita.

Infine, in Figura 36 vengono riportate, in primo piano le due linee dedicate al confezionamento automatico dei prodotti in scatola e dei *blister*, mentre più defilate, sul fondo, le quattro macchine per l'assemblaggio automatico.

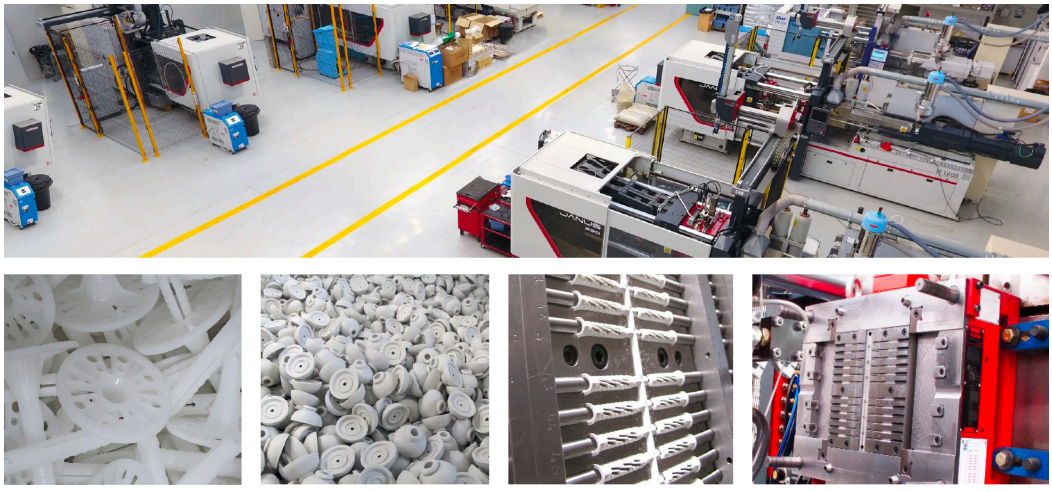


Figura 33 - Linee automatiche di stampaggio ad iniezione di materiali plastici

Figura 34 - Linee automatiche di tranciatura

Figura 35 - Linee automatiche di stampaggio viterie

Figura 36 - Linee automatiche macchine assemblatrici e confezionatrici

3.3 FOCUS PRODOTTI

Le principali gamme di soluzioni offerte, di seguito elencate e mostrate in figura 37, sono progettate, sviluppate, prodotte e testate per la maggior parte dei suoi componenti all'interno degli impianti dell'azienda, ad eccezione dei prodotti e delle lavorazioni chimiche come la zincatura (processo di rivestimento del metallo per proteggere il manufatto dagli agenti corrosivi) acquistate da fornitori esterni.

Queste gamme di prodotti si differenziano per ambito di applicazione e quindi sono così suddivise:

- Sistemi per fissaggi pesanti (Ancoranti metallici)
- Sistemi per fissaggi di serramenti
- Sistemi per fissaggi leggeri
- Sistemi per fissaggio di pannelli isolati
- Ancoranti chimici
- Sistemi di fissaggio per legno
- Sistemi di fissaggio per coperture
- Sistemi di fissaggio per impianti di energie rinnovabili

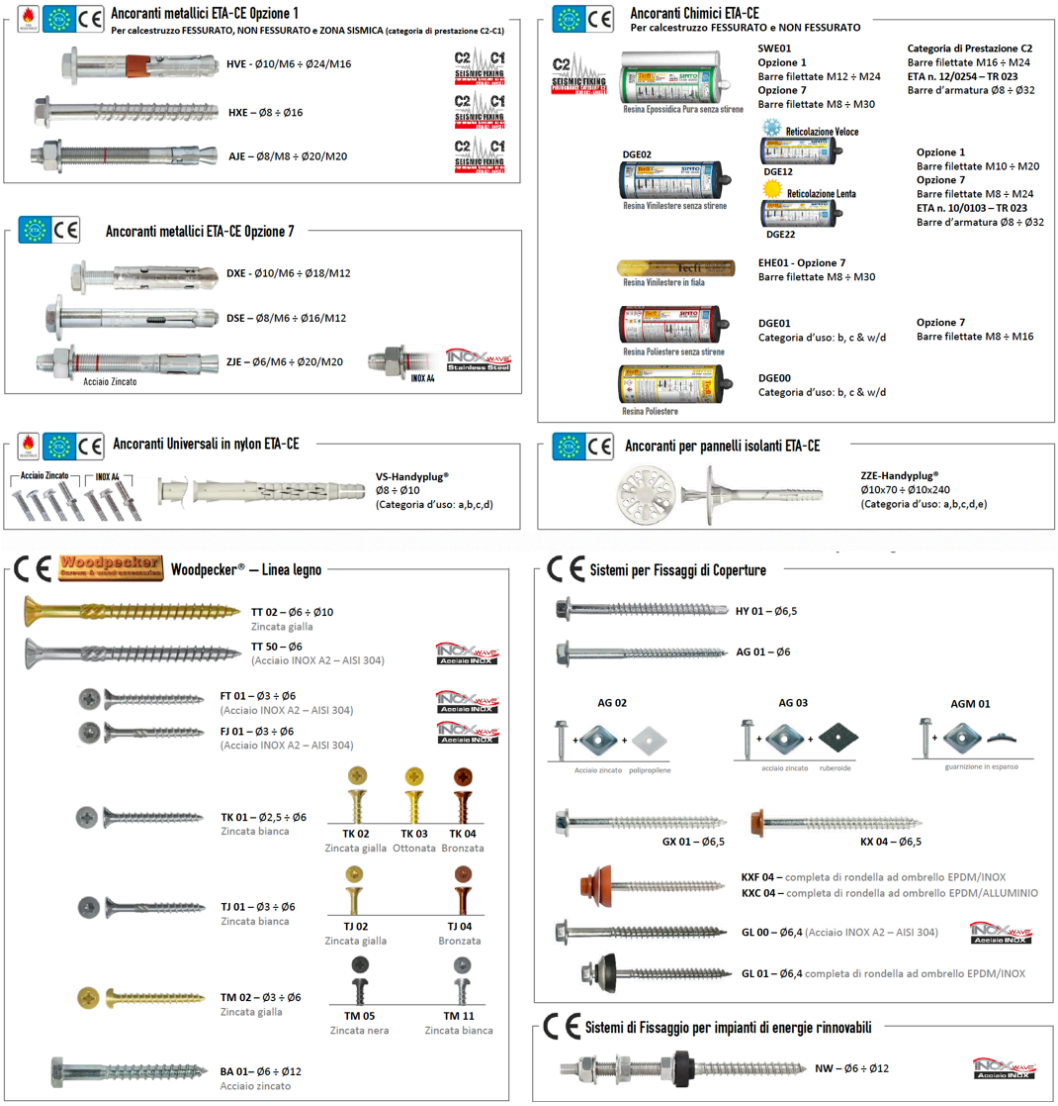


Figura 37 - Principali gamme di prodotto Tecfi

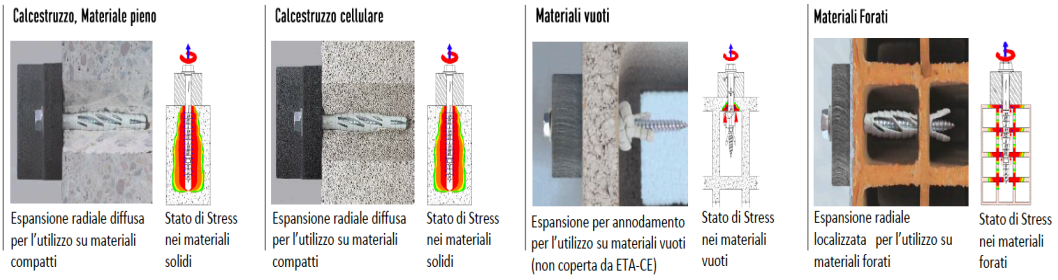


Figura 38 - Alcuni esempi di applicazioni

3.4 INDUSTRY, MERCATO E CLIENTI

L'*industry* di competenza per la Tecfi SpA è il settore delle costruzioni che al suo interno può essere suddiviso in tre mercati differenti:

- La rivendita tradizionale
- Le costruzioni, intese come progetti
- La grande distribuzione, nota anche come *Do It Yourself* (*DIY*)

Le modalità di approccio al potenziale cliente, così come i canali di vendita ed il prodotto/servizio offerto, si adattano alla tipologia di consumatore da servire ed alla sua localizzazione geografica. I clienti di Tecfi sono circa 2.000, localizzati in Italia e all'estero, vengono raggiunti dalla vendita diretta (Ufficio Sales) e dagli agenti plurimandatari nelle regioni italiane e in qualche paese del nord-Africa come Marocco, Tunisia ed Algeria; mentre invece per l'estero, al consolidato canale diretto si affiancano i distributori, alcuni dei quali vantano il diritto di esclusività per l'intera aera geografica di competenza.
Come accennato in precedenza, i servizi ed i prodotti offerti ai clienti variano in funzione dell'appartenenza ad uno dei tre diversi mercati che per Tecfi valgono in ordine il 70%, il 25% ed il 5% del fatturato; tenendo in considerazione che il mercato delle costruzioni è stato raggiunto nel momento in cui si è deciso di puntare sulla produzione e quindi sulla tecnologia dei prodotti offerti, mentre il *DIY* partito solo nel settembre 2017. A supporto di questi canali, la Tecfi offre una serie di servizi dedicati ai suoi clienti o potenziali tali che sono il *Field Engineering* (supporto ingegneristico sul cantiere) e la Formazione per gli studi di costruzione ed il *Trade Marketing* per la rivendita e la grande distribuzione. Il *Field Engineering* ha lo scopo di supportare l'istallatore e pensare la soluzione più efficace a risolvere le criticità riscontrate sia in ambito di progettazione che di realizzazione dell'opera; mentre invece la Formazione in azienda o presso il cliente ha la finalità di istruire gli addetti ai lavori sulle corrette modalità di installazione per i prodotti nuovi o poco conosciuti. La funzione aziendale del *Trade Marketing*, fortemente rafforzata con l'ingresso nel mondo del *DIY*, offre ai clienti la

progettazione e la realizzazione di un nuovo *layout* espositivo, di un'area dedicata alla vendita dei prodotti Tecfi all'interno del proprio punto vendita.

3.5 FORNITORI

Per quanto riguarda i fornitori bisogna distinguere le forniture di materie prime per la produzione, dalle forniture di semilavorati, componenti e prodotti finiti che dopo essere stati assemblati e/o confezionati vengono stoccati o direttamente evasi. I fornitori di materia prima, nel dettaglio, polimeri di Nylon e Gomma per la produzione di tasselli e rondelle; nastro laminato per la produzione di componenti per i fissaggi delle coperture, connessioni per le travi in legno e tasselli di lamiera; filo di Inox e di acciaio per lo stampaggio della viteria; sono completamente acquistati in Italia con un *lead-time* di circa 20 giorni. Restando in ambito produttivo, i fornitori di alcune lavorazioni di rifinitura come ad esempio la zincatura precedentemente citata, così come gli assemblatori esterni, sono ricercati e localizzati quanto più vicini alla Tecfi al fine ridurre il più possibile le inefficienze dovute al tempo intercorso per gli spostamenti, che per l'azienda rappresentano esclusivamente un costo. Se le materia prima è acquistata totalmente in Italia, i semilavorati ed i componenti vengono acquistati all'estero, più precisamente in Asia, dove ci sono fornitori in grado di soddisfare il livello di specializzazione e le capacità produttive richieste da Tecfi; grazie anche al lavoro di alcuni intermediari che oltre a gestire i rapporti con i fornitori più complicati, combinano tra loro più forniture al fine di minimizzare i costi di trasporto. Queste forniture hanno però un *lead-time* di 4-6 mesi dal momento in cui viene emesso l'ordine.

3.6 I NUMERI DI TECFI

Ad oggi la Tecfi SpA, giunta al suo ventiduesimo anno di attività, può contare su un organico di 70 dipendenti, organizzati secondo la struttura riportata in figura 40 e dislocati tra i tre stabilimenti in base alle mansioni ricoperte. Nell'ultimo anno ha fatto registrare un fatturato di circa 15 Milioni di euro, in crescita del 5% rispetto all'anno precedente, con vendite in 56 paesi del mondo e con un pacchetto clienti

di circa 2.000 unità, di cui 1800 in Italia e 200 all'estero, raggiunti anche grazie ai 60 agenti italiani e 30 distributori esclusivi per alcune regioni straniere.

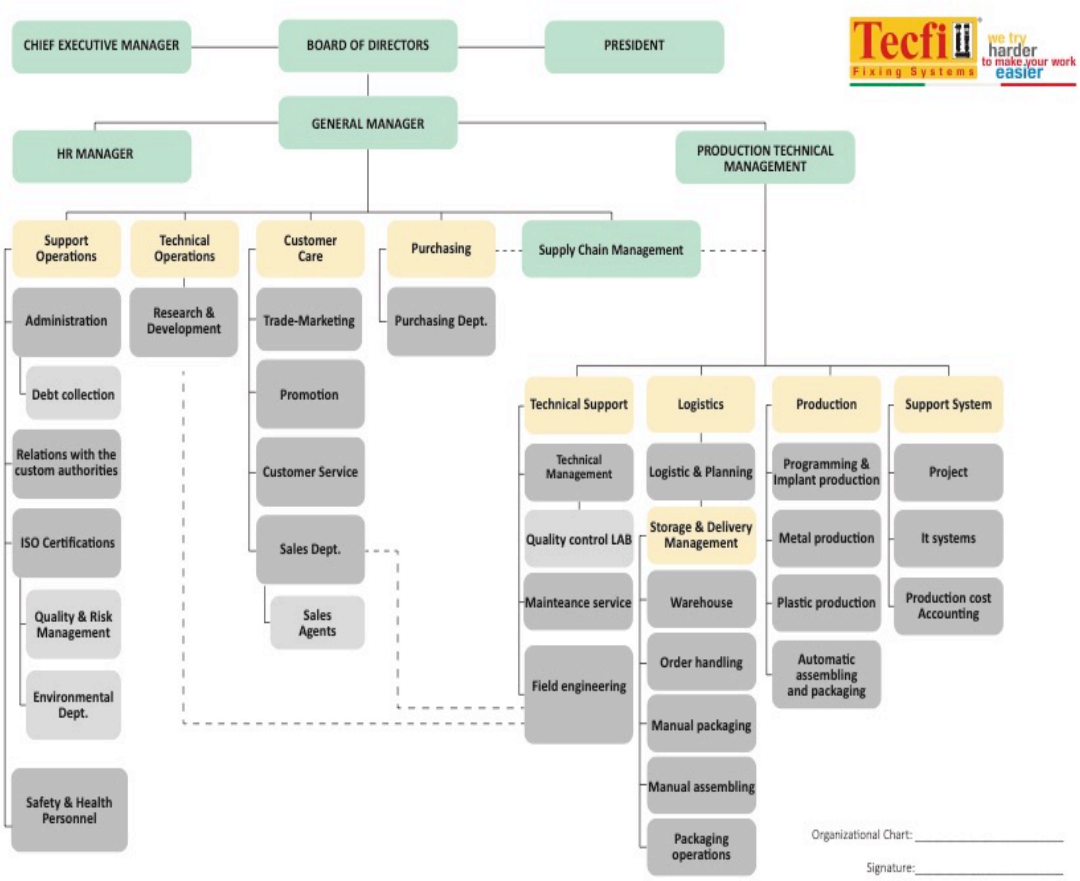


Figura 39 - Organigramma Tecfi

4 ANALISI DEL PROCESSO LOGISTICO DI PREPARAZIONE DELL'ORDINE

In questo capitolo verranno presente le modalità per le quali il processo di preparazione dell'ordine è stato ritenuto critico, l'approccio utilizzato per la sua ristrutturazione, la descrizione delle fasi che lo compongono, oltre che la definizione di tutti i processi a supporto (Assemblaggio, Confezionamento, Produzione e Approvvigionamento). Infine, al paragrafo 4.4, sono state individuate e schematizzate le principali criticità che, al capitolo 5, saranno riprese per comprendere come le tecnologie abilitanti la *DSC* potranno risolverle.

4.1 APRROCCIO UTILIZZATO PER L'INDIVIDUAZIONE E L'ANALISI DEL PROCESSO

Nel seguente capitolo è stato seguito un approccio di *business process design* (Damiani, 2010) al fine di procedere all'individuazione di un processo aziendale la cui criticità [17], ovvero il peso strategico del processo stesso per il conseguimento degli obiettivi di business, ed il livello qualitativo attuale rispetto a quello atteso, necessitano di interventi tali da ottenere un output rilevante per il mercato. Il modello utilizzato non mira a definire processi radicalmente nuovi che possono rimpiazzare quelli precedentemente esistenti, bensì ha lo scopo di determinare un miglioramento incrementale senza stravolgimenti strutturali.

I primi passi per la ristrutturazione del processo, affrontati in questo capitolo, sono senza dubbio l'analisi *As-Is*, la mappatura funzionale attraverso i *flowchart* delle attività e delle informazioni e l'individuazione degli elementi di criticità; sulla base dei quali, nel capitolo successivo, verranno definiti gli strumenti abilitanti la *Digital Supply Chain,* argomentati al capitolo primo, e le modalità di intervento al fine di sfruttare le opportunità di miglioramento.

L'approccio utilizzato per condurre l'analisi *As-Is* è frutto delle informazioni raccolte da un'attenta osservazione del processo ed una serie di interviste effettuate agli attori coinvolti lungo l'intero percorso, al fine di comprendere le modalità di esecuzione delle attività e di gestione del flusso informativo.

La definizione degli elementi di criticità è invece basata sui bisogni del cliente che per il processo in esame richiede la fornitura della giusta merce, nelle giuste quantità, nelle tempistiche pattuite e nel pieno rispetto di tutti gli standard qualitativi dichiarati, per il prodotto in sé, per gli imballi e le modalità di spedizione. Questi bisogni del cliente si traducono poi, secondo una logica *backward,* in fabbisogni del processo e quindi indicatori di qualità per le varie funzioni aziendali. Per ognuno di questi indicatori bisogna poi definire dei livelli di performance obiettivo e quindi capire se e come dover migliorare le modalità di esecuzione delle varie attività al fine di raggiungere gli obiettivi prestabiliti.

4.2 PROCESSO AS-IS

Il processo di gestione dell'ordine, come si può vedere dagli allegati 1 e 2, parte nel momento in cui la segreteria (ufficio clienti) riceve l'ordine dall'ufficio Sales, via mail per gli ordini esteri e tramite il portale *WAO* (*Web Agent Order*) per gli ordini italiani. Questi ultimi vengono trasferiti automaticamente dal suddetto portale al gestionale interno; mentre per quanto riguarda gli ordini esteri sarà cura di un dipendente dell'ufficio clienti caricare l'ordine nel gestionale aziendale (Metodo) registrando ogni singolo articolo, le relative quantità ed eventuali note speciali. A questo punto viene generato il numero identificativo dell'ordine e la corrispondente lista di prelievo (allegato 3) che dopo essere stata stampata viene consegnata al responsabile del reparto Evasione.

Questo, coordinato dal reparto logistico, pianifica la schedulazione degli ordini e l'allocazione delle risorse fisiche secondo le procedure aziendali.

Il responsabile, quindi, assegna ai singoli operatori le Liste di prelievo degli ordini da lavorare in formato cartaceo e questi ultimi dopo aver "sparato" il codice a barre riportato sulla lista, aprono l'ordine in formato digitale sul proprio lettore (allegato 4). Il lettore digitale oltre ad indicare la nomenclatura e le quantità, come consultabile da lista cartacea, permette di ordinare i vari articoli per percorso di prelievo, al fine di velocizzare il processo di preparazione dell'ordine ottimizzando il percorso degli operatori con i mezzi di carico, oppure per peso dell'articolo semplificando la composizione del pallet.

A questo punto del processo parte la preparazione fisica dell'ordine con l'operatore dell'evasione, *picker*, che procede al prelievo della merce attingendo dalla scorta

del *picking* e preoccupandosi di "sparare" ogni singolo articolo nelle quantità desiderate, confermando l'avvenuto prelievo sulla "pistola". Nel caso in cui il prodotto è sotto il livello di scorta, l'operatore non ritira alcuna quantità, riporta una "X" a penna sulla riga dell'articolo corrispondente (allegato 5) e procede alla compilazione del modulo cartaceo "Scheda di segnalazione necessità *picking*" (allegato 6), nel quale vengono indicati gli articoli dei prodotti mancanti e viene depositato all'interno di un'apposita casella, consultata dal responsabile di magazzino. Gli ordini incompleti vengono temporaneamente depositati dal *picker* in un'area fisica di riferimento per il reparto evasione.

Il responsabile di magazzino verifica attraverso il software di gestione del magazzino la presenza degli articoli mancanti all'evasione e provvede, in prima persona o attraverso un operatore da lui delegato, al prelievo ed al trasferimento dall'area di stoccaggio a quella di *picking*, tracciando il tutto attraverso il lettore *barcode* per aggiornare le rimanenze nel *software* interno di magazzino.

A questo punto il responsabile di magazzino da comunicazione all'evasione della nuova disponibilità per il prodotto richiesto e sarà poi competenza di quest'ultimo reparto dover riaprire e completare l'ordine. Più precisamente, a partire dalle ore 15, è responsabilità di uno o due *picker,* in base alle esigenze, prelevare gli articoli precedentemente mancanti a *picking* e completare gli ordini in attesa nell'area di competenza.

Qualora l'articolo richiesto per il *picking* non fosse presente a *stock*, è esclusivamente compito del responsabile del Magazzino consultare il gestionale per capire la natura del prodotto finito e quindi se è un assemblato, un confezionato, un articolo di produzione oppure se viene acquistato da fornitori terzi. Per le prime due casistiche, lo stesso responsabile del magazzino provvederà a consultare il gestionale interno per verificare le postazioni degli articoli necessari all'assemblaggio e/o confezionamento dell'articolo desiderato dopo aver contattato l'ufficio logistico per verificare se l'item, indipendentemente dalle 4 casistiche appena presentate, è in lavorazione oppure per richiederne fornitura; in quest'ultimo caso sarà lui stesso a rifornire i rispettivi reparti dei componenti necessari alla lavorazione.

Se l'articolo è in lavorazione, la logistica comunicherà il momento della disponibilità a magazzino, mentre se è da lavorare provvederà a schedulare la

lavorazione in base alla politica interna di gestione delle urgenze. Ottenuta la data di nuova disponibilità del prodotto, e dopo aver consultato il cliente, l'ufficio clienti comunicherà all'Evasione ed alla Logistica se l'ordine attenderà la nuova disponibilità oppure se partirà senza l'articolo mancante, che sarà poi spedito in seguito a spese dell'azienda o in aggiunta ad un nuovo ordine.
A questo punto per i prodotti non disponibili ma richiesti all'interno dell'ordine, sarà cura del responsabile della Logistica "dare il rosso" e quindi comunicare all'Evasione che tale articolo va sottolineato in rosso sulla Lista di prelievo e quindi escluso dalla preparazione dell'ordine. Dati i costi diretti ed indiretti annessi a questa problematica la disponibilità a *stock* dei prodotti è un elemento cruciale per un'impresa industriale quale Tecfi.

Terminata una o tutte le attività di produzione, assemblaggio e confezionamento, e ricevuta approvazione dall'ufficio tecnico, c'è il trasporto in magazzino che permette la ripresa del flusso, dopo che l'operatore di competenza abbia provveduto a ripopolare l'area di *picking* e ne abbia dato comunicazione al suo responsabile. Arrivati tutti i prodotti necessari al completamento dell'ordine, questo viene riaperto, completato, firmato dal *picker* e consegnato al responsabile nell'area di spunta. Il responsabile dell'evasione o un suo incaricato hanno il compito di spuntare l'ordine, cioè controllare che tutti gli articoli presenti nella lista di prelievo siano stati prelevati correttamente per ogni singolo articolo e nelle giuste quantità, e contemporaneamente stilare il *Packing List* (allegato 7), che consiste nel numerare i pacchi del pallet e compilare un nuovo documento, il quale riporta accanto ad ogni articolo il numero del pacco nel quale i prodotti sono contenuti.
Il *Packing List* è un documento importante per il cliente, soprattutto per ordini caratterizzati da numerosi articoli, poiché semplifica notevolmente le attività di immagazzinamento della merce, ma allo stesso tempo se viene fatto manualmente costa molto per l'azienda in termini di tempo assorbito da tale attività.
Il *Packing List* elaborato manualmente è un collo di bottiglia poiché il processo di preparazione dell'ordine, così come strutturato oggi, è un processo *stage-gate* dove non vengono svolte attività in parallelo e quindi date le tempistiche dell'esecuzione di questa fase, crea "traffico". Terminata la fase di spunta ed ottenuto il *Packing List*, se non ci sono errori o articoli mancanti, l'operatore che ha spuntato l'ordine

ne approva l'esecuzione e firma la chiusura della lista di prelievo, dando così il via libera all'attuazione delle ultime attività dell'evasione, le fasi di imballo e pesata.
A questo punto viene consegnata la lista di prelievo alla segreteria che redige manualmente, aggiornando codice articolo e quantità prelevate, il documento di trasporto (DdT) e procede alla stampa dell'etichetta da applicare sull'ordine fisico e tutti gli altri documenti da consegnare al trasportatore. Terminate le attività dell'ufficio clienti, l'operatore incaricato al carico merci rilascia tutti i documenti necessari al trasportatore, fa un controllo finale per verificare che ogni bancale abbia il proprio Ddt e che il numero di colli corrisponda a quanto riportato sui documenti di trasporto; consegna la documentazione controfirmata all'ufficio clienti, prima di evadere definitivamente l'ordine.

4.3 PROCESSI A SUPPORTO DEL PROCESSO DI PREPARAZIONE DELL'ORDINE

4.3.1 Assemblaggio

L'assemblaggio degli articoli avviene sia per il ripristino dei livelli di giacenza, sia per soddisfare le richieste che provengono dall'evasione *on-demand* (a richiesta): nel primo caso l'ufficio logistico, delegato dal direttore di produzione, emette gli Ordini di Produzione (ODP) (allegato 8) sulla base della media venduti mensile, le giacenze, il livello di riordino dei componenti e dei composti, nonché di tutti gli altri fattori determinanti la programmazione interna delle logiche di magazzino e gestione delle risorse, consultabili attraverso il Sistema Gestionale Aziendale (SIA); ma senza usufruire di alcun software di ottimizzazione. Nel secondo caso invece, dopo aver ricevuto l'input dall'ufficio logistico con l'ODP, inizia la lavorazione per soddisfare le richieste di produzione che provengono dall'*alert* sollevato dal magazzino, a sua volta sollecitato dalla giacenza nulla riscontrata dal *picker*.

La Logistica con la collaborazione degli Acquisti definisce ed aggiorna periodicamente i livelli minimi di giacenza del prodotto assemblato, sulla base dei determinanti sopracitati, per poi riportarli nel Programma Assemblaggi.

Il Programma Assemblaggi rappresenta il programma di lavoro da evadere per il reparto Assemblaggio, se non ci sono urgenze provenienti da ordini di clienti in attesa di evasione. Le richieste di assemblaggio *on demand* hanno la priorità assoluta. Per questo motivo che in periodi particolarmente carichi di lavoro o in caso di grandi quantità ordinate di articoli personalizzati da assemblare, l'azienda ricorre a fornitori terzi al fine di evitare la formazione di un collo di bottiglia e congestionare l'intero processo.

Per il Reparto di assemblaggio è prevista la compilazione da parte del Direttore di produzione, o di un suo delegato, di un ordine di produzione. In tale documento viene specificato:

- Codice articolo da produrre;
- Quantità da produrre;
- Codice/i articoli impegnati secondo la distinta base e relative quantità.

Con l'ausilio del software "Rivelamento tempi" e del lettore *barcode*, l'operatore "spara" il codice a barra dell'ordine per registrare l'inizio e la fine dell'attività e versare automaticamente le quantità prodotte e gli annessi costi nel gestionale aziendale Metodo.

L'azienda, oltre all'assemblaggio manuale sia interno che esterno, dispone di macchinari per effettuare l'assemblaggio automatizzato, in modo da aumentare il numero di pezzi per unità di tempo. Tali macchinari sono attivati e monitorati da personale adeguatamente formato.

L'operatore di assemblaggio ha cura di verificare che i pezzi prodotti siano conformi al disegno oppure alle istruzioni di montaggio allegate all'ordine di produzione.

4.3.2 Confezionamento

Allo scopo di assicurare imballi e sistemi di rintracciabilità adeguati e standardizzati, di controllare la qualità e la quantità del contenuto, la Tecfi SpA ha deciso di internalizzare il processo di confezionamento dei prodotti delle proprie gamme.

Il confezionamento è un processo di magazzino che consiste nel riporre i prodotti nelle confezioni personalizzate con il marchio Tecfi ed ha inizio a valle del controllo in accettazione degli approvvigionamenti.

Il confezionamento, manuale o automatico, segue generalmente le stesse logiche viste per l'assemblaggio e viene quindi disposto nel momento in cui vengono rilevate carenze di prodotti a *stock* o *picking,* oppure qualora vi sia un ordine che riporta quantitativi da preparare *on demand*. L'attività di confezionamento programmata, per assicurarsi il giusto livello di scorte a magazzino, viene richiesta dal responsabile della logistica, anche in questo caso delegato dal direttore di produzione, che sulla base delle informazioni contenute all'interno del gestionale Metodo pianifica i prodotti e le quantità necessarie da confezionare; stilando così un Programma Confezionati.
Le attività di confezionamento *on demand,* a differenza dell'assemblaggio, presenta due casistiche differenti poiché oltre al normale caso in cui la giacenza del *picking* è vuota e quindi l'ordine non può essere evaso, si verifica frequentemente che alcuni clienti, grossisti o altre imprese, richiedano articoli in confezioni personalizzate. Nel primo caso è il responsabile di magazzino, mediante il modulo "scheda di segnalazione priorità di confezionamento", a richiedere a tale reparto il confezionamento di uno o più articoli e l'operatore incaricato, completata l'attività, provvede a registrarla con la Scheda Articoli Combinati. Nel caso in cui i prodotti ordinati siano da confezionare in scatole personalizzate, sarà l'ufficio clienti a notificare l'avvenuto ordine all'ufficio logistico, il quale provvederà a schedulare l'attività all'interno del Programma Confezionati in base al livello di priorità, determinata dalla data di evasione dell'ordine, per poi emettere un normale ODP nel quale saranno definiti:

- Codice articolo da produrre;
- Quantità da produrre;
- Codice/i articoli impegnati secondo la distinta base e relative quantità.

Al termine delle attività di confezionamento, reso disponibile lo stesso prodotto confezionato per il magazzino, la Scheda Articoli Combinati viene inviata automaticamente via *e-mail* all'ufficio tecnico. Quest' ultimo ha il compito di

aggiornare Metodo effettuando le operazioni di scarico dei singoli componenti e di carico del prodotto confezionato.
Quando invece il confezionamento segue il flusso dell'Ordine di Produzione, a seguito della "sparata" di chiusura dell'attività, il movimento e le tempistiche di esecuzione vengono automaticamente caricate all'interno del gestionale Metodo.

4.3.3 Produzione

La produzione, così come le altre attività a supporto del processo di preparazione dell'ordine, è programmata sia per il ripristino dei livelli di giacenza che per soddisfare le richieste *on demand* provenienti dagli ordini da evadere.
Per questa attività, ad eccezione di alcuni processi chimici di rifinitura come ad esempio la zincatura, la Tecfi è completamente integrata e l'input all'avvio del processo di produzione è dovuto quasi esclusivamente alla pianificazione effettuata dal direttore generale, o da un suo delegato e responsabile della produzione.
Al fine di redigere il Programma di Produzione più efficiente possibile, il responsabile della produzione genera un MRP (*Materials Resource Planning)* senza alcun software ed in formato *excel,* con logica *pull*, basato quindi sulla media venduti, l'indice di rotazione del magazzino e l'ottimizzazione delle risorse impiegate; trovando il giusto equilibrio tra il rispetto dei vincoli produttivi ed i *lead-time* di approvvigionamento degli altri componenti il prodotto finale.
La pianificazione viene svolta per gamme di prodotto attraverso l'emissione degli ordini di produzione, i quali vengono schedulati quando si dispone a *stock* di una scorta di sicurezza necessaria a soddisfare la domanda di mercato per uno o due mesi.
Gli ODP programmati vengono rivisti nel momento in cui si deve avviare la produzione, al fine di aggiornare le quantità da produrre in base alla possibile variazione di uno o più variabili determinanti, con l'obiettivo di allocare le risorse, scadenzare gli ordini ed assicurare il rispetto delle procedure di produzione.
Secondo proprio queste procedure, nel momento in cui arriva un ordine con un extra-venduto(quantità ordinata dal cliente molto maggiore rispetto alla media venduti) o contenente un articolo personalizzato per il quale è necessario avviare la produzione, così come visto per le attività di confezionamento ed assemblaggio, questo avrà la priorità assoluta su tutti gli ODP programmati; coerentemente con la

policy aziendale per la quale la *customer satisfaction* prevale anche sull'efficienza produttiva.
A monte del processo ed a valle delle singole fasi di produzione vengono svolti e classificati dei controlli, su base campionaria, delle materie prime, semilavorati e prodotti finiti e solo se sono rispettati tutti gli standard qualitativi stabiliti dalle normative e dall'ufficio Tecnico, il prodotto viene dichiarato conforme e libero di raggiungere la fase successiva di lavorazione o immagazzinamento.
Quando il prodotto torna disponibile, la Produzione comunicherà il completamento dell'ordine alla Logistica che trasferirà l'informazione all'ufficio clienti, il quale gestirà eventuali Rimanenze, se il prodotto fosse in *stock-out*. Nel momento in cui l'ODP è stato chiuso, l'operatore aggiornerà automaticamente il SIA scaricando e caricando le quantità lavorate.

4.3.4 Approvvigionamento

La gestione degli approvvigionamenti è sicuramente un elemento fondamentale a supporto del processo di preparazione dell'ordine poiché ha l'obiettivo di garantire alle varie funzioni aziendali la presenza della materia prima, dei componenti e dei prodotti finiti per poter avviare le varie attività di produzione, assemblaggio e confezionamento finalizzate a soddisfare le richieste del mercato.
Il processo di approvvigionamento è completamente gestito dall'ufficio Acquisti che, così come le funzioni precedentemente presentate, lavora sia per il ripristino dei livelli di giacenza, secondo un Programma Acquisti, sia per soddisfare le richieste *on demand* riguardanti articoli personalizzati o extra-venduti. Il Programma Acquisti viene stilato sulla base degli ordini di produzione effettuati e messi in programma dai responsabili delle varie funzioni produttive in condivisione con il Direttore Generale, senza l'utilizzo di alcun software di ottimizzazione, basandosi quindi sulle informazioni contenute all'interno del gestionale Metodo ed il software di magazzino sviluppato internamente.
Le materie prime, quasi esclusivamente di origine plastica o metallica, per la qualità garantita dai fornitori nonché per i *lead time* di approvvigionamento estremamente vantaggiosi (circa 7 giorni) vengono acquistate nella loro totalità in Italia. Non è lo stesso per molti componenti e prodotti finiti metallici la cui produzione ed importazione avviene in gran parte da fornitori qualificati del Sud-est Asiatico con i quali si sono ormai istaurati rapporti duraturi e raggiunte economie di

apprendimento, nonostante il *lead time* rappresenti un forte elemento di criticità poiché sono necessari circa 45 giorni per il solo trasporto via mare, ai quali vanno aggiunti 3-4 mesi per la produzione ed il reperimento dalla merce dagli altri subfornitori.

È quindi compito dell'ufficio Acquisti la ricerca e la gestione dei rapporti con i fornitori, ai quali è richiesto che siano rispettati gli standard qualitativi stabiliti dall'Ufficio Tecnico e che possano garantire un'efficienza economica in termini di prezzo e tempi di approvvigionamento.

Le politiche aziendali focalizzate sulla soddisfazione dei bisogni del cliente prevedono in caso di una richiesta di fornitura eccezionale, un extra-venduto tale da provocare lo *stock-out*, l'acquisto di uno o più componenti presso fornitori/clienti occasionali e localizzati in Italia o in Europa, in modo da riuscire ad ottenere la merce in pochi giorni e riuscire a difendere la *customer relationship* a discapito dei minori margini di profitto.

4.4 CRITICITÀ DEL PROCESSO

Ripercorrendo il processo di preparazione dell'ordine, data la natura del settore, l'organizzazione interna di Tecfi ed i bisogni del mercato, sono state individuate una serie di criticità che attraverso una corretta gestione potrebbero generare importanti benefici per l'azienda in termini di fatturato, riduzione del numero di Non Conformità e quindi crescita della *customer satisfaction*, semplificazione dei *tasks* per i singoli dipendenti e supporto decisionale per il management.

Le principali criticità riscontrate, che saranno analizzate approfonditamente di seguito, sono:

- FLUSSO DI INFORMAZIONI
- MONITORAGGIO DELLE ATTIVITÀ DI MAGAZZINO
- TRACCIABILITÀ DEL PROCESSO

4.4.1 Gestione del flusso informativo

La principale criticità del processo in analisi riguarda la gestione delle informazioni e delle comunicazioni che accompagnano le attività di preparazione degli ordini, i quali vengono controllati quasi esclusivamente attraverso schede cartacee e sulla base di routine informali, ormai consolidate nel corso degli anni. Questo aspetto causa un grosso sforzo per tutti gli attori coinvolti, i quali devono far affidamento ad un software interno per la gestione del magazzino ma soprattutto alla loro memoria ed esperienza per gestire una grande mole di informazioni che dovrebbe riportare il gestionale.

Ad oggi, quindi, possiamo definire l'intero processo efficace ma non ancora efficiente.

L'efficacia è data dal fatto che, nonostante la gestione non troppo fluida e lineare, gli ordini non hanno problemi ad essere spediti nelle tempistiche pattuite con il cliente poiché il team che opera direttamente lungo il processo, o a supporto di questo, ha sviluppato nel corso degli anni grande flessibilità nell'operatività ordinaria e straordinaria. Detto ciò, questo non vuol dire che non sia un processo da ottimizzare, tanto è vero che il management punta molto sul raggiungimento di una buona efficienza che possa spingere la crescita aziendale, sostenuta nel lungo periodo da un aumento del fatturato ed una riduzione dei costi operativi, dovuta appunto ad una crescita dell'efficienza misurabile, tra gli altri, con i due seguenti indicatori di tempo medio di preparazione dell'ordine e numero di ordini con errore sulla totalità degli ordini spediti.

L'inefficienza del processo è facilmente intuibile quando, ricevuto un nuovo ordine, arriva la lista di prelievo all'evasione che viene assegnata ad un *picker* in formato cartaceo oltre che digitale, sul lettore *barcode*. Le uniche informazioni accessibili all'operatore del *picking* sono l'articolo, la quantità e l'ubicazione dei prodotti da prelevare, ma non ha alcuna indicazione affidabile riguardo il livello di giacenza.

Questa non informazione causa forti rallentamenti per il completamento dell'ordine poiché gli addetti al prelievo fanno troppe "tappe a vuoto" ed il 40,74%, come riscontrabile dalle osservazioni riportate nell'allegato 9, delle liste di prelievo vengono lasciate in sospeso in attesa di una risposta dal magazzino, sollecitato dalla "scheda segnalazione necessità *picking*". La sospensione di un ordine causa un ingombro nella zona di evasione e quindi una conseguente riduzione dello spazio di manovrabilità che può indurre ulteriori rallentamenti, nonché una crescita delle

informazioni da gestire che possono essere minime se l'articolo nelle quantità desiderate fosse in magazzino o in produzione, fino a crescere sempre più se dovessero essere ordini da effettuare e quindi rimanenze da gestire ed attualmente non tracciate all'interno del gestionale. La gestione delle rimanenze, cioè dei prodotti non disponibili né a magazzino né in produzione che quindi verranno spedite al cliente in un secondo momento a spese di Tecfi o in aggiunta ad un nuovo ordine, è forse l'esempio più intuitivo per comprendere l'attuale gestione del flusso di informazioni e quindi la criticità di tale tematica.

Le Rimanenze non sono tracciate in alcun modo sui sistemi informativi aziendali, se non come impegnato cliente come un qualsiasi ordine ancora aperto, ma a differenza di quest'ultimo non sono contenute in alcuna lista di prelievo. Quindi sarà cura dell'ufficio clienti, sollecitato dalla logistica in entrata o dall'ufficio tecnico quando il prodotto tornerà disponibile, sulla base della loro memoria e/o controllando le rimanenze all'interno di un archivio dedicato, dare comunicazione all'evasione con una lista esclusivamente cartacea che la merce è tornata disponibile e quindi può essere inviata al cliente che era in attesa. È facilmente comprensibile che basterebbe perdere questo foglio di comunicazione per rischiare di non inviare la merce al cliente.

Restando nell'ottica di gestione delle rimanenze, un altro aspetto delicato che evidenzia la non informatizzazione di molti processi, è sicuramente la mancata notifica automatica di svincolo di un prodotto o di un suo componente che ha superato il controllo qualità; il che implica il rischio di non inviare la merce in rimanenza al cliente se la logistica o l'ufficio tecnico erroneamente non notificano la nuova disponibilità all'ufficio clienti.

Se come appena descritto, le troppe tappe a vuoto dei *picker* sono causa di rallentamenti nella preparazione dell'ordine, la non informatizzazione di questo processo è la causa di tale inefficienza, ma è anche una delle principali cause degli errori riscontrati nelle non conformità sollevate dai clienti.

Inoltre, in quest'ottica di gestione non informatizzata, avere ordini in attesa di essere completati può aumentare la probabilità di errore quando gli ordini vengono poi completati, poiché a fine giornata e con la fretta di evadere la merce è possibile che sulla pedana di un cliente finisca un collo di un altro ordine; è quindi intuibile che basterebbe un errore dell'operatore di spunta per spedire l'ordine errato e senza alcuna traccia sui sistemi poiché la spunta viene fatta senza lettore.

4.4.2 Monitoraggio delle attività di magazzino

La gestione degli spazi a magazzino ed in particolare delle postazioni *Picking* è un ulteriore elemento critico che, se ottimizzato, può portare importanti benefici nell'ottica di una crescita dell'efficienza aziendale. L'importanza di tale tematica è sicuramente dovuta alla natura dell'*industry* di appartenenza dell'impresa oggetto del caso studio, poiché le gamme oltre ad essere molteplici sono molto ampie al loro interno, tanto è vero che Tecfi conta circa 10.000 articoli diversi. Data la numerosità ed i volumi occupati dai prodotti, i vincoli dimensionali dell'area di *picking* rendono praticamente impossibile ed inconveniente l'immagazzinamento in questa area della totalità della merce; oltre che il monitoraggio del livello di giacenza.

C'è quindi bisogno di ottimizzare la gestione degli spazi di stoccaggio, riducendo il numero di discese della merce dalle ubicazioni di *stock* al *picking*, in modo da ottimizzare il lavoro dei magazzinieri, cercando di stoccare i giusti articoli nelle corrette quantità al fine di evitare lo *stock-out*; in particolar modo per i prodotti con un maggiore *lead-time* o che potrebbero mandare in affanno altri reparti come assemblaggio e confezionamento, qualora fossero costretti a lavorare *on demand*.

Una corretta gestione delle scorte per il *picking*, implica la necessità di migliorare la capacità di reazione immediata agli *alert*, la tracciabilità dei prodotti, dello *stock*, degli ordini e del loro status sui sistemi informativi, che accoppiati ad una corretta previsione della domanda possono portare ad importanti vantaggi economici per l'impresa, in termini di riduzione dei costi di immagazzinamento, ottimizzazione degli acquisti e riduzione del rischio di sotto-scorta.

Una buona gestione del flusso informativo ed una corretta gestione del magazzino, porterebbero oltre che maggiore monitoraggio del processo, anche e soprattutto una gestione degli spazi a *picking* più efficiente, riducendo il *lead-time* medio per il completamento dell'ordine ed ottenendo così un incremento del numero di ordini evadibili giornalmente.

Un elemento aggiuntivo di criticità per la gestione del magazzino è sicuramente la delocalizzazione dell'impianto produttivo rispetto al magazzino principale ed evasione, il che richiede il raggiungimento di un importante livello di ottimizzazione e pianificazione degli spostamenti al fine di garantire la velocità di evasione dell'ordine richiesta dal *management*.

A supporto di tale criticità, un'analisi ex-ante degli ordini potrebbe garantire un buon livello di ottimizzazione, poiché permetterebbe di preparare prima gli ordini evadibili per le giacenze a magazzino ed intanto sollecitare la produzione degli altri reparti oppure anticipare il "rosso" di un articolo, in modo che quando l'ordine è in preparazione tutta la merce spedibile è prelevabile; al fine di diminuire gli ordini incompleti nell'area di attesa, riducendo così il rischio di errore.

4.4.3 Tracciabilità del processo

La necessità di una maggiore tracciabilità della merce a *stock*, dello stato degli ordini in entrata e in uscita, nonché delle risorse, è un elemento cruciale nel processo di gestione dell'ordine. Oltretutto permetterebbe un maggiore controllo sul processo, favorendo la reattività agli *alerts* per innescare l'avvio delle attività di supporto, come la produzione, l'assemblaggio, il confezionamento e l'approvvigionamento di materie prime e componenti.

Queste attività, programmate per produrre per lo *stock*, ad oggi faticano a lavorare in questa logica principalmente a causa di una gestione ed un monitoraggio del magazzino non efficiente. Data la struttura del settore caratterizzata da *lead-time* di approvvigionamento lunghi per i prodotti finiti o componenti non di produzione interna (costituenti il 40% dei prodotti venduti), fino a 6 mesi a causa della localizzazione dei fornitori ed una forte volatilità del mercato (è capitato svariate volte che un articolo non venga venduto per anni e poi improvvisamente ripartono gli ordini, stravolgendo così il valore della media venduti), risulta molto complicata la previsione della domanda e la conseguente gestione degli approvvigionamenti.

La maggiore tracciabilità del processo garantisce anche un maggiore monitoraggio delle risorse, è quindi sicuramente uno strumento importante di supporto decisionale per le figure manageriali dell'azienda, che possono in questo modo ottimizzare l'allocazione delle risorse a disposizione.

Per il processo di gestione dell'ordine, la sua completa tracciabilità è sicuramente un elemento focale, per questo è fondamentale poter individuare a sistema ogni singolo spostamento della merce, da quando entra a quando questa viene evasa. Se tutte le attività produttive, automatiche e manuali, sono tracciate all'interno del gestionale Metodo mediante la tecnologia *barcode*, così non è per alcuni elementi del magazzino ed evasione; poiché per quanto riguarda il magazzino c'è traccia dei

prodotti solo quando sono in ubicazioni riconosciute dal sistema, ma se casualmente un *pallet* viene scaricato da un'ubicazione che sia virtuale o fisica e depositata momentaneamente a terra, questa non è più identificata, così come se un operatore dimentica di tracciare lo spostamento con il lettore (evento possibile considerando che il singolo operatore di magazzino effettua circa 100 spostamenti giornalieri, alcuni dei quali tra magazzini delocalizzati tra loro). Passando all'evasione le criticità sono principalmente due, la prima è che il *picker* quando preleva un articolo in numero maggiore ad uno, nonostante non sia previsto dalle procedure aziendali, può "sparare" più volte l'etichetta di un singolo pacco, mentre la seconda è che l'operatore di spunta non è munito di lettore *barcode*. Le problematiche annesse a queste criticità possono portare il *picker a* prelevare un numero errato di confezioni rispetto a quanto richiesto dall'ordine, che se viene spedito, oltre a disallineare il magazzino virtuale con quello fisico, non ha alcuna tracciabilità per i sistemi poiché dal controllo degli articoli scaricati per quell'ordine le confezioni risultano essere corrette. Non avere il lettore per la spunta, invece, vuol dire maggiore difficoltà a riscontrare un errore effettuato nelle fasi precedenti, non beneficiare di un'importante controllo in caso di reclamo sulla mancata evasione degli articoli da parte del cliente, oltre a rallentare in maniera rilevante questa e le successive fasi di conclusione dell'ordine come la spunta, la redazione automatica del *Packing List* e dei Documenti di Trasporto.

Tabella 4 – Schematizzazione Criticità processo As-Is

CRITICITÀ	CAUSA CRITICITÀ
1. Informazione frammentaria	Gestione informale del flusso informativo
2. Mancata tracciabilità del flusso informativo	Gestione informale del flusso informativo
3. Complicata accessibilità all'informazione	Gestione informale del flusso informativo
4. Utilizzo schede cartacee	Gestione informale del flusso informativo
5. Assenza pianificazione per la gestione delle movimentazioni di magazzino	Assenza di un monitoraggio efficiente delle attività di magazzino
6. Assenza pianificazione per la gestione delle postazioni di *picking*	Assenza di un monitoraggio efficiente delle attività di magazzino
7. Scarsi strumenti per la previsione della domanda	Scarsa tracciabilità e controllo del processo
8. Assenza di strumenti funzionali alla programmazione delle attività di lavorazione interna	Scarsa tracciabilità e controllo del processo

4.5 PROGETTI IN ESSERE IN AMBITO LOGISTICO

L'esigenza di incrementare la tracciabilità della merce a magazzino è un elemento importante a sostegno della *customer relationship*, se inteso come maggiore trasparenza nei confronti del cliente.

In questa direzione, a partire da Ottobre 2018, Tecfi ha lanciato un nuovo progetto che prevede l'elaborazione del *Packing List* in automatico, tramite sistema informativo, dove per ogni articolo viene indicata l'ubicazione della confezione sul pallet. Ad oggi quest'attività viene svolta manualmente dall' operatore di spunta, il quale compila un modulo prestampato dove accanto ad ogni articolo della lista di prelievo viene indicato il numero del collo in cui questo è contenuto, oltre al suo peso netto e lordo. Ma la vera novità ed obiettivo di tale progetto sarà riportare il numero identificativo del lotto di produzione per ogni articolo, sul quale il cliente potrebbe rivalersi in caso di non conformità del prodotto e del quale l'azienda conserva i campioni, oltre che i risultati ottenuti dalle prove tecniche. La generazione della *Packing List*, è fondamentale per la *value creation* percepita dal cliente poiché semplifica notevolmente l'immagazzinamento della merce per il cliente che diversamente dovrebbe controllare le singole confezioni del pallet; e se

fatto in maniera automatica permette di velocizzare moltissimo l'ultima fase di preparazione dell'ordine per Tecfi; iniziando quel processo di ottimizzazione delle attività di gestione dell'ordine del quale ho parlato nei paragrafi precedenti.

5 APPLICAZIONE DEGLI STRUMENTI *DIGITAL SUPPLY CHAIN*. CASO TECFI SPA

Il seguente capitolo ha l'obiettivo di analizzare l'applicabilità delle tecnologie determinanti la *Digital Supply Chain* al caso aziendale Tecfi, andando ad approfondire nella prima parte gli strumenti necessari a ridisegnare il processo di preparazione dell'ordine, le fasi intermedie di implementazione e la descrizione delle tecnologie abilitanti questo cambiamento; mentre nella seconda parte il discorso si è spostato sulle altre tecnologie, *RFID*, *Agumented Reality* e *Additive Manufacturing*, che potrebbero generare un incremento dell'efficienza aziendale.

Le criticità riscontrate ed analizzate al capitolo 4, tra le quali, la scarsa tracciabilità delle movimentazioni, la non informatizzazione dei processi interni all'azienda e la conseguente carenza di integrazione, causano una gestione informale delle attività, determinando senza dubbio le principali cause di inefficienza del processo di preparazione dell'ordine e più in generale della gestione delle attività di magazzino, *stock* e *picking*. Tra le tecnologie presentate al capitolo 1, l'implementazione dell'*IoT*, l'Intelligenza Artificiale, la sensoristica, i *Big Data* ed il *Cloud computing* potrebbero generare importanti benefici all'interno di un sistema nel quale, ad oggi, non vi è alcuna traccia delle fasi che si susseguono e compongono il processo di preparazione dell'ordine. L'attuale configurazione informatica è costituita da un mix di sistemi *on-premise*, soluzioni personalizzate acquistate presso un *provider* esterno ed installate sul server aziendale, e *software* sviluppati internamente per i quali tutte le attività operative di ricezione dell'ordine, emissione ordini di produzione, generazione Documenti di Trasporto (DdT) e fatturazione sono gestiti mediante il gestionale aziendale; mentre l'intero processo di preparazione dell'ordine e le attività di magazzino seguono un flusso parallelo, gestito attraverso un software dipartimentale completamente separato dal gestionale.

È quindi facilmente intuibile la necessità di integrazione.

Integrare i sistemi informativi con le logiche di gestione del magazzino snellirebbe notevolmente il flusso informativo, di conseguenza si ridurrebbe notevolmente la quantità di informazioni da gestire in maniera informale tra tutti gli operatori, direttamente ed indirettamente, impegnati sul processo di preparazione dell'ordine. Sviluppare queste ed altre soluzioni in *Cloud* permetterebbe, oltretutto, di integrare

tutte le attività di produzione interna con le dinamiche a monte ed a valle dell'impresa, al fine di riuscire ad immagazzinare la maggiore quantità possibile di *data* e di conseguenza cercare di generare del valore dalle informazioni provenienti dai clienti e dai fornitori, cercando di risolvere le criticità ed incrementare l'efficienza aziendale.

5.1 INFORMATIZZAZIONE E TRACCIABILITÀ, IL PROCESSO TO-BE

L'attuale gestione del processo di preparazione dell'ordine necessita senza dubbio di un incremento di efficienza, tale da aumentare la produttività dell'intero sistema. La logica di ristrutturazione del processo, così come è stata pensata, è di tipo incrementale e quindi non prevede particolari stravolgimenti nelle modalità di esecuzione e sequenzialità delle varie fasi costituenti il suddetto processo. Per questo motivo si è pensato ad una fase intermedia, visione di breve periodo al paragrafo *5.1.2*, che possa formare le risorse all'utilizzo delle tecnologie *digital* e faccia adattare le *routines* organizzative alle nuove dinamiche del processo di preparazione dell'ordine, visione di medio-lungo periodo, paragrafo *5.1.1*.

5.1.1 Visione di medio-lungo periodo

Coerentemente alle logiche *IoT*, l'intero processo va informatizzato, connesso ed automatizzato mediante l'utilizzo di un sistema *ERP* in *Cloud Computing PaaS*, e tracciato attraverso lettori *barcode*. Così come riportato dall'allegato 10 e 11, quando l'ordine entra nel sistema gestionale, mediante inserimento manuale dell'operatore oppure direttamente tramite il portale *WAO*, prima di essere generata una lista di prelievo identificata con un ID univoco, ci sarà un controllo automatico grazie ad un algoritmo abilitante l'Intelligenza Artificiale che, sulla base delle quantità disponibili a magazzino e provenienti dalla produzione ed al netto della merce riservata per gli ordini inseriti precedentemente, segnalerà eventuali righe non evadibili nelle tempistiche prestabilite con il cliente e, in questo caso, sarà compito dell'operatore stesso contattare il cliente per confermare o annullare la commessa. Le commesse lavorabili vengono divise in Prelevabili ("P") e Non Prelevabili ("NP"), le prime contengono tutti gli articoli presenti nell'area *picking*

e quindi evadibili, mentre le seconde contengono articoli da lavorare e quindi da movimentare da *stock* a *picking*, in lavorazione (produzione, confezionamento o assemblaggio) o da produrre; in quest'ultimo caso viene automaticamente emessa una Proposta di Ordine di Produzione (POP) che il direttore o un suo delegato visionerà per confermare o modificare in base alle esigenze. La POP è automaticamente elaborata dall'algoritmo di intelligenza artificiale implementato nell'*ERP* che terrà conto di tutte le informazioni estratte dai dati analizzati dal sistema, tra i quali la quantità ordinata, la previsione della domanda, l'efficienza dei macchinari e delle lavorazioni subordinate, l'efficienza dello stoccaggio e la giusta flessibilità per poter ovviare ad eventuali urgenze; in linea con le procedure aziendali. L'*ERP* aziendale procederà poi a distribuire ai vari operatori, in formato digitale sui lettori *barcode*, le liste di prelievo Prelevabili e, se e solo se, tutte le liste contrassegnate con la "P" sono state lavorate, il sistema in automatico inizierà la lavorazione delle "NP" che verranno poi depositate nell'apposita area di attesa; in ogni caso il responsabile di evasione può controllare queste attività e decidere di modificare la gerarchia degli ordini da lavorare, al fine di garantire la giusta flessibilità di sistema per ovviare ad aventuali casistiche straordinarie. L'operatore incaricato riceverà una notifica sul proprio *hardware* quando l'articolo tornerà disponibile nell'area *picking*; questo *alert* indicherà oltre alle informazioni riguardanti l'articolo/i da prelevare, anche il posizionamento degli articoli già prelevati poiché le Unità di Carico (UdC) saranno dotate di etichette, così come le ubicazioni di magazzino, per questo le movimentazioni saranno tracciate sul sistema centrale, in modo da indentificare univocamente la loro localizzazione. Inoltre, per ovviare al problema della "sparata dello stesso pacco" con il prelievo del numero errato di confezioni, si è pensato di implementare dispositivi *CPS* sulle pale dei mezzi di carico, in modo da avere un controllo *real-time* della correttezza degli articoli prelevati confrontando il peso teorico, indicato nei sistemi, e quello reale misurato dal sensore stesso; nel caso in cui i valori non coincidano, considerato anche un margine di tolleranza, viene notificato all'operatore con uno specifico allarme bloccante. Grazie a questo stesso sensore, al momento della chiusura delle attività di prelievo, sarà automaticamente noto anche il peso del pallet. A questo punto l'operatore di spunta, munito di lettore *barcode*, controllerà che tutti gli articoli siano stati prelevati e darà la conferma finale al sistema per la generazione dei DdT ed il *Packing List* automatico, in digitale. L'automatizzazione

del *Packing List* e delle attività abilitanti la redazione dei DdT, come verificato da test cronometrati ed eseguiti sul campo, in alcuni casi anche all'insaputa degli operatori al fine di replicare fedelmente le normali condizioni di lavoro, riduce la durata di queste attività di circa il 90%, passando dagli attuali 20 minuti testati ai circa 2 minuti stimati per le sole attività di controllo ed imballaggio finale. Le comunicazioni tra i vari reparti si riducono drasticamente con l'informatizzazione dei processi, così come le schede cartacee completamente eliminate, dato che l'input per l'avvio di una lavorazione viene notificato sul *device* (esempio layout figura 40) affidato al singolo operatore, o all'intero reparto. Per quanto riguarda la gestione degli articoli in Rimanenza, questi vengono automaticamente aggregati dal sistema alla lista di prelievo del nuovo ordine e quindi si allineano al normale flusso di gestione dell'ordine da lavorare; mentre invece nel caso in cui l'articolo torna disponibile e non c'è una nuova commessa, la segreteria riceve una notifica e di conseguenza verrà emessa e lavorata una Lista di Prelievo di Rimanenza che per i *picker* è una normale LP, ma per il sistema è leggermente diversa poiché nel momento in cui vengono emessi i DdT non vengono imputati al cliente le spese di trasporto (se previsti da precedenti accordi).

Figura 40 - Esempio layout dispositivo in dotazione agli operatori (www.chinaautoid.net)

5.1.2 Visione di breve periodo

Il processo così come è stato presentato, seppur basato sulla stessa logica di quello attuale, rappresenta un cambiamento *distruptive* per le *routines* organizzative sviluppate dagli operatori nel corso degli anni e per questo motivo, la sua implementazione dovrà essere graduale. In condivisione con il management aziendale e con l'ufficio *ICT*, si è pensato in un primo momento di integrare l'intero processo sul gestionale, eliminando le schede cartacee e mantenendo il potere decisionale esclusivamente sulle persone, lasciando così tempo ai singoli operatori di metabolizzare la digitalizzazione dei propri strumenti di lavoro. Per questo motivo quando l'ordine arriva all'interno del gestionale, vengono generate le liste di prelievo che il responsabile dell'evasione procederà a distribuire ai singoli operatori, direttamente in formato digitale, sulle pistole *barcode* a loro assegnate. Il *picker* procede a lavorare l'ordine associando, con il proprio lettore, la lista di prelievo all'Unità di Carico (UdC) e riportando l'esito (prelevato correttamente, prelevato parzialmente o non prelevato) sul prorpio *device*; una volta chiusa la LP viene depositata nell'area di competenza, ordini da completare o ordini completati. Per gli ordini completati (identificati sul dispositivo dal pallino verde) l'operatore di spunta, anch'egli dotato di lettore *barcode*, eseguirà le operazioni di controllo confrontando quanto riportato dall'*hardware*, in seguito alla sparata del codice a barre dell'UdC, con quello che vede fisicamente; a questo punto, rileva il peso e chiude definitivamente la lista di prelievo generando in automatico il *Packing List* ed i DdT. Quando almeno una riga della LP è dichiarata "prelevata parzialmente" o "non prelevata", la restante parte dell'ordine già lavorata viene depositata nell'area di attesa, la lista di prelievo incompleta (identificati sul dispositivo dal pallino giallo) viene temporaneamente chiusa e sul dispositivo del responsabile di magazzino viene notificata la necessità del *picking*. A questo punto se l'articolo è presente a *stock* procede a trasferire la merce all'area *picking,* tracciando il tutto con il lettore *barcode*, mentre invece se a magazzino le quantità non sono sufficienti a soddisfare la domanda, l'articolo è dichiarato da produrre. La notifica della riga d'ordine da produrre viene ricevuta dal direttore generale o un suo delegato, il Responsabile di produzione che procederà ad emettere un Ordine di Produzione o a dichiararlo mancante. In questo caso la riga corrispondente viene evidenziata in rosso per poi essere gestita come Rimanenza, se dovessero mancare la materia

prima o un componente da acquistare, mentre la restante parte della lista di prelievo viene considerata evadibile (pallino verde). Quando invece gli articoli, contenuti nelle LP in attesa di essere completate, tornano disponibili dalla produzione, l'operatore di magazzino riceve una notifica e dopo aver movimentato fisicamente e virtualmente la merce, dal buffer di produzione al *picking*, le Liste di Prelievo contenenti tali articoli saranno identificate come Completabili (sul dispositivo comparirà pallino Arancione). A questo punto il *picker*, che può controllare in ogni momento lo stato delle LP a lui assegnate, completerà l'ordine ed il pallino passerà dall'essere arancione a verde; di conseguenza l'operatore di spunta ultimerà le attività di evasione come spiegato precedentemente.

5.2 TECNOLOGIE ABILITANTI IL PROCESSO *TO-BE*

Le nuove dinamiche del processo To-Be prevedono l'utilizzo di alcune tecnologie abilitanti la DSC, descritte al capitolo 1, che in questa sezione verranno riprese e contestualizzate al caso studio, per comprenderne le modalità di implementazione ed i vantaggi fruibili per la risoluzione delle criticità del processo di preparazione dell'ordine, individuate al capitolo 4. Le principali tecnologie alle quali è stato fatto riferimento, come evidenziato in tabella 5, sono il *Cloud Computing,*l' *IoT* ed i *Big Data*.

Tabella 5 - Criticità, Cause, Soluzioni Digital e Benefici

CRITICITÀ	CAUSA CRITICITÀ	TECNOLOGIA ABILITANTE	BENEFICI GARANTITI
1. Informazione frammentaria	Gestione informale del flusso informativo	*Cloud Computing* e *IoT*	Evita lunghi giri di mail, l'informazione ridondante e rende chiara la gestione delle informazioni e delle decisioni
2. Mancata tracciabilità del flusso informativo	Gestione informale del flusso informativo	*Cloud Computing*	Permette di avere traccia di tutte le attività, ad es. l'avvenuto ordine e lo stato di avanzamento
3. Complicata accessibilità all'informazione	Gestione informale del flusso informativo	*IoT e Cloud Computing*	Da modo di controllare le attività svolte in qualunque momento anche in remoto
4. Utilizzo schede cartacee	Gestione informale del flusso informativo	*IoT*	Evita la duplicazione o la dispersione dell'informazione
5. Assenza pianificazione per la gestione delle movimentazioni di magazzino	Assenza di un monitoraggio efficiente delle attività di magazzino	*Big Data*	Il monitoraggio dello *stock* e l'elaborazione di un modello di gestione del magazzino permettono un controllo dei costi di stoccaggio
6. Assenza pianificazione per la gestione delle postazioni di *picking*	Assenza di un monitoraggio efficiente delle attività di magazzino	*Big Data*	Un'efficiente *Data Analysis* garantirebbe il monitoraggio di ogni postazione *picking* (indice di rotazione), di conseguenza un incremento della produttività dell'intero processo
7. Scarsi strumenti per la previsione della domanda	Scarsa tracciabilità e controllo del processo	*Big Data e Cloud Computing*	Il monitoraggio e la gestione integrata e condivisa dell'informazione rendono la *supply chain* flessibile e reattiva
8. Assenza di strumenti funzionali alla programmazione delle attività di lavorazione interna	Scarsa tracciabilità e controllo del processo	*Big Data*	L'analisi delle attività svolte internamente ed esternamente all'impresa garantisce una gestione efficiente delle risorse che beneficia all'impresa stessa ed all'intera *supply chain*

5.2.1 Cloud Computing

Il *Cloud Computing* è un elemento fondamentale, alle base di tutte le tecnologie *IT*, poiché permette di integrarle tra loro e così incrementare il valore creato. I principali vantaggi sono dovuti alla potenza, alla scalabilità e all'economicità di questo servizio, che quindi permette di gestire grossi volumi di dati, senza richiedere alcun investimento specifico per l'impresa, bensì pagando in funzione dei reali consumi, *"Pay-by-use"*, ma soprattutto riesce a garantire l'integrità e la sicurezza delle informazioni processate. L'implementazione di un sistema *ERP* in *Cloud* permetterebbe la corretta **informatizzazione del processo** analizzato poiché offre la possibilità di progettare dei canali univoci ed inequivocabili per la gestione dei flussi interni di informazioni, mantenendone traccia ed offrendo la possibilità di analisi sulla base di una raccolta centralizzata di dati in grado di far emergere trend sconosciuti fino a quel momento. Il primo e principale vantaggio che garantirebbe questo sistema *web based* è senza dubbio l'**integrazione interna** che risolverebbe un'importante criticità riscontrata, il **trasferimento lineare** e la **gestione trans-funzionale dell'informazione**. Un esempio a supporto di quanto appena affermato può essere il caso dell'Ufficio Acquisti che deve avere traccia sia dello stato degli ordini di acquisto effettuati ed ancora in consegna, che tenere sotto controllo la programmazione delle attività produttive e quindi lo stato delle scorte di prodotti finiti, componenti e materie prime per ridurre al minimo il rischio di *stock-out*, dovendosi quindi interfacciare direttamente con la logistica, le vendite, la produzione e l'amministrazione. Avere una *overview* di tutti i processi ed un'analisi automatizzata (come nell'esempio in figura 41) nella quale confluiscono le informazioni provenienti da ogni funzione aziendale, permetterebbe oltre ad un'immediata **accessibilità dell'informazione**, una programmazione degli approvvigionamenti più puntuale ed efficiente, evitando così di ricorrere a fornitori alternativi, più cari, per soddisfare la domanda di mercato. Inoltre, grazie all'ampio accesso in rete, il sistema *Cloud* garantisce un importante strumento di supporto decisionale per il management che in qualsiasi momento può controllare lo stato delle attività di ogni funzione da un qualsiasi dispositivo dotato di connessione internet e così pianificare interventi migliorativi (esempio in figura 42). Se il sistema *ERP web based* può garantire il giusto livello di integrazione interna, non sono da meno i vantaggi ottenibili in materia *Customer Relationship Management*

(CRM) e più in generale *Supply Chain Management (SCM)*; tanto è vero che la progettazione di un portale dedicato ai clienti potrebbe rafforzare l'integrazione della *Supply Chain*, nell'ottica di un sistema flessibile, aperto alla condivisione delle informazioni determinanti il successo dell'intera catena del valore. Dato che tutte le informazioni relative ad un ordine sono tracciate sui sistemi aziendali grazie alle tecnologie *IoT*, un cliente può consultare il portale a lui dedicato per accedere allo stato del suo ordine, senza dover contattare telefonicamente o via e-mail la segreteria, ma soprattutto può tenere comodamente traccia di tutte le sue forniture e quindi riuscire ad avere un supporto decisionale per la programmazione degli ordini, che per Tecfi vuol dire maggiore **previsione della domanda** e quindi migliore adattabilità alle fluttuazioni del mercato; di questi benefici, di conseguenza, ne gioverebbero anche i fornitori che a loro volta riuscirebbero a pianificare la propria domanda con maggiore affidabilità. In questa logica di sistema integrato, tutti questi vantaggi offerti dal suddetto portale al consumatore si traducono in benefici per il supporto decisionale dell'intera rete vendite, grazie alla profilazione automatica dei clienti e quindi la possibilità di proporre offerte mirate.

I vantaggi di un sistema *Cloud* possono quindi essere così riassunti:

- Incrementa l'efficienza operativa, integrazione intra-funzionale
- Incrementa la flessibilità e l'agilità del business, integrazione della *Supply Chain*
- Migliora la capacità decisionale, *database* condiviso
- Riduce i costi di gestione dell'infrastruttura IT, delle *facilities* e le spese operative per un ammontare di circa il 30% [18]

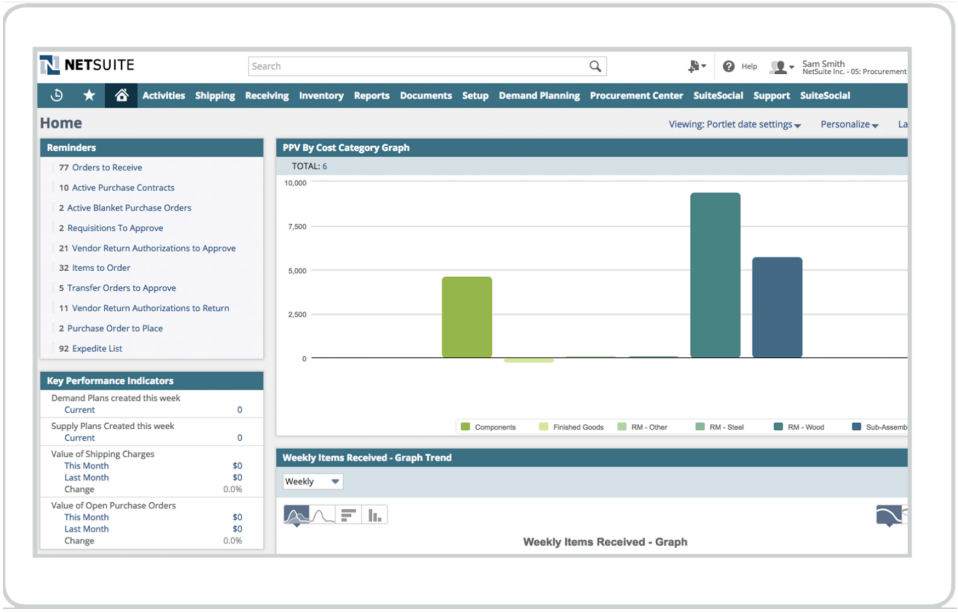


Figura 41 - Esempio layout ERP: maschera Ufficio Acquisti

Figura 42 - Esempio di accesso da un dispositivo mobile

5.2.2 Internet of Things (IoT)

Il paragrafo precedente ha evidenziato il ruolo fondamentale che svolge la tecnologia *Cloud Computing* per l'integrazione aziendale e della *Supply Chain*, ma c'è da sottolineare che sono gli strumenti *IoT* a svolgere la funzione di raccolta e trasferimento dati, i quali dopo essere stati analizzati offrono il corretto supporto decisionale a tutti i livelli aziendali. I sistemi *IoT* garantiscono quindi la tracciabilità, non solo dei flussi di materiali ma anche di tutte le attività svolte dai singoli dipendenti e macchinari.

L'*IoT* è quindi considerata tra le tecnologie abilitanti la *DSC*, quella che da l'input al processo di digitalizzazione poiché trasforma i singoli *task* svolti all'interno di un'impresa in dati inviati alla componente virtuale del sistema.

Nel processo di preparazione dell'ordine *To-Be* gli strumenti *IoT* utilizzati, in particolare i *device* degli operatori (*tablet* e *computer*), connessi ad internet ed in grado di comunicare tra loro, abilitano il **monitoraggio delle movimentazioni** mediante la tecnologia *barcode* in essi implementata, l'**informatizzazione delle attività**, **eliminando le comunicazioni cartacee** e lunghi giri di mail, al fine di **evitare la duplicazione o la dispersione dell'informazione**, che in tal modo riesce a seguire un flusso formale.

Guardando direttamente al processo di preparazione dell'ordine, il *network* costituito dai dispositivi *IoT* riesce a risolvere l'importante esigenza di un efficace monitoraggio del magazzino e di tutte le lavorazioni subordinate a questo processo; tanto è vero che l'eliminazione delle schede cartacee per l'avvio delle lavorazioni di movimentazioni di *stock*, l'input automatico all'emissione di un Ordine di Produzione (OdP), l'informazione del completamento di un'attività, permettono di evitare il rischio di congestionare l'intero processo. Per questi motivi che l'informazione digitale inviata all'incaricato preposto *real-time*, così come ad esempio la gestione sequenziale degli *item* richiesti al magazzino (piuttosto che il collo di bottiglia causato dalle schede cartacee contente fino a 12 articoli richiesti contemporaneamente), permettono di ridurre le inefficienze dovute ai problemi di comunicazioni interna. Come appena dimostrato, le principali criticità risolvibili con l'informatizzazione digitale dei *device IoT* è soprattutto dovuta alle inefficiente riscontrate nella gestione dei flussi di materiali e di informazioni tra gli stabilimenti delocalizzati di produzione e commerciale (stoccaggio ed evasione), poiché se le comunicazioni tra evasione, magazzino *stock* 1 e 2 e Confezionamento Manuale possono avere ritardi nell'ordine di 1-2 ore al massimo data la vicinanza, le comunicazioni tra gli stabilimenti delocalizzati possono arrivare anche ad 1 giorno o più, il che vuol dire ritardare l'evasione e quindi una grossa inefficienza per Tecfi che ha nella rapidità di consegna la *mission* aziendale (per il mercato italiano è garantita la spedizione in 24h del 95% delle righe ordinate).

L'integrazione del flusso informativo tra i due stabilimenti, come appena descritto, è sicuramente una criticità da controllare con il supporto della tecnologia *IoT*; ma scendendo più nel dettaglio, oltre agli aspetti già considerati, un ulteriore elemento

da monitorare è l'ambito produttivo e più in particolare la comunicazione dell'esito delle attività di controllo qualità eseguite dall' Ufficio Tecnico. I macchinari produttivi, ad eccezione delle tre macchine tranciatrici, oltre ad essere di ultima generazione possono essere considerati a tutti gli effetti dispositivi *IoT*, anche se non essendo implementata la tecnologia dell'*ERP* completamente integrato, l'azienda non sfrutta a pieno i loro benefici. Per quanto riguarda il controllo qualità invece, è molto spesso considerato un collo di bottiglia poiché seppure l'azienda sia dotata di macchinari d'ispezione innovativi, quando arriva una commessa in ingresso, considerando anche i lotti di produzione interna, i controlli da effettuare sono numerosi, causando così un rallentamento del flusso. Il vantaggio che però possono offrire i dispositivi *IoT* di tutte le macchine produttive connesse in rete, non garantisce solo benefici per una migliore ottimizzazione del programma di produzione, grazie all'invio delle informazioni alla piattaforma *database* centrale, ma permettono di eseguire un controllo qualità *real-time* grazie ai sensori su di essi implementati, i quali comunicano al sistema l'andamento del processo con un controllo statistico, incrementando così la qualità del prodotto finito e riducendo i carichi di lavoro dei tecnici della qualità. Per quanto riguarda i prodotti di origine esterna l'Ufficio Tecnico non può omettersi dall'effettuare il controllo completo, ma la criticità in questo caso è il trasferimento dell'informazione alla logistica e all'ufficio clienti per l'esito del controllo; risolvibile attraverso l'utilizzo di un semplice *tablet* con il quale i tecnici possono comunicare lo svincolo del prodotto sulla piattaforma integrata e quindi velocizzare l'ingresso della merce a magazzino ed il conseguente riempimento del *picking*, migliorando così l'efficienza del processo di preparazione dell'ordine.

5.2.3 Big Data e Big Data Analytics

Dopo aver spiegato i benefici ottenibili dalla raccolta e gestione delle informazioni, individuato negli strumenti *IoT* l'interfaccia tra la componente fisica e quella virtuale dell'azienda e nella tecnologia *Cloud Computing* l'infrastruttura di rete capace di sostenere ed ottimizzare questo flusso informativo, a questo punto è necessario parlare di *Big Data e Big Data Analytics* poiché è proprio questa la

tecnologia che permette l'estrapolazione dell'informazione, il valore intrinseco ai dati raccolti.

Il ruolo di questa tecnologia parte quindi dalla base di dati estrapolati dai dispositivi *IoT* e si occupa di filtrarli, analizzarli e clusterizzarli per fornire il giusto supporto decisionale alle persone o agli algoritmi di intelligenza artificiale, in altre parole trasforma i *Big Data* in *Smart Data*. I dati sono considerati un vero e proprio *asset* per l'impresa (Ylijoki e Porras, 2018) ed in quanto tali, proprio come si fa per un macchinario, c'è bisogno di ottimizzarne il rendimento per massimizzare la *value creation*.

Per comprendere l'importanza dell'analisi dei dati raccolti e quanto l'estrapolazione del valore dipenda dalla bontà di questa, si riportano i pensieri di Peter Sondergaard, vice presidente della Gartner Research, il quale afferma che "*L'informazione è il petrolio del XXI secolo, ma l'analisi è la benzina"*, e quello dell'informatico Daniel Keys Mora che dice "*Potete avere i dati senza l'informazione, ma non l'informazione senza i dati"*; quindi visto che il reale valore è contenuto nelle informazioni opportunamente aggregate e classificate, l'analisi è l'elemento fondamentale capace di trasformare dati in conoscenza.

Per implementare l'analisi dei dati all'interno di un'impresa come Tecfi, date le attuali dimensioni aziendali ed il livello di integrazione di sistema pensato, potrebbe non essere necessaria l'assunzione di un *data scientist*, poiché per la natura strutturata dei dati, dovrebbero essere sufficienti le analisi comunemente offerte dai sistemi *ERP* all'interno di ogni modulo, i quali prevedono una sezione legata al monitoraggio delle informazioni ritenute critiche per il business aziendale e più in particolare per la funzione dalla quale sono consultate. Le informazioni estratte dalla *Data Analytics*, oltre ai vantaggi precedentemente descritti al paragrafo *5.2.1* per le varie funzioni aziendali, permettono **il monitoraggio e l'analisi delle movimentazioni di magazzino e *picking***, considerati al capitolo 4 tra le principali criticità dell'intero processo. Le informazioni estraibili offrono un determinante supporto decisionale per l'elaborazione di un modello di gestione degli spazi delle aree *stock* e *picking*, riuscendo così a classificare le principali cause di inefficienze che possono determinare la definizione di una migliore configurazione delle postazioni, in modo da ridurre il numero di reclami per errori nella preparazione dell'ordine oltre ad ottimizzare il numero di discese da *stock* a *picking* e gli spostamenti tra i magazzini delocalizzati. In questa logica, l'analisi dei dati

aggregati provenienti da più funzioni aziendali, permette ad esempio di ottenere l'indice di rotazione di ogni articolo, un parametro di enorme valore in grado di consigliare il migliore posizionamento per ogni *item* così come la giusta quantità da stoccare, incrementando sensibilmente l'efficienza di queste attività. Ad oggi invece le uniche informazioni ottenibili riguardo il singolo articolo sono la media venduti, ottenuta semplicemente dividendo le quantità totali vendute in un periodo di riferimento per i mesi di quest'intervallo temporale, ed il numero di movimentazioni effettuate a *picking* nel suddetto periodo; dati che considerato il numero di articoli stoccati rendono praticamente impossibile un'analisi puntuale e performante.

5.3 ALTRE APPLICAZIONI IOT

5.3.1 Smart Manufacturing

L'impianto produttivo di Tecfi vanta in gran parte macchinari di ultima generazione in grado di rilevare dati, selezionarli e trasmetterli al sistema centrale che sulla base di un'analisi delle informazioni ricevute, emette le azioni risolutive che la capacità elaborativa locale riesce ad implementare; ma non essendo implementato il *Cloud Computing* queste funzionalità non vengono sfruttate a pieno, se non per quanto riguarda il controllo di processo. Le uniche macchine produttive non dotate di sensoristica sono le 3 tranciatrici, per le quali l'investimento di trasformazione all'*IoT* richiede in totale la somma di venticinquemila euro circa, ai quali vanno aggiunti altrettanti venticinquemila per integrare il controllo di processo con le macchine stampatrici, in modo da unificare il controllo di tutti i macchinari per la produzione di viteria. La stima di questo investimento è stata fatta sulla base di un'offerta di mercato ricevuta da *Brankcamp*, società del gruppo *Marposs*, fornitrice di sistemi di monitoraggio dei processi produttivi che ha previsto per ognuna delle tre macchine tranciatrici un investimento di circa 7.000 € per la predisposizione del macchinario e l'implementazione dei sensori di sforzo, ai quali vanno aggiunti altri 25.000 € per l'*Overall Equipment Effectiveness (OEE)* in grado di monitorare l'efficienza, le prestazioni e la qualità dell'intero sistema produttivo.

Le stampatrici invece, così come le presse ad iniezione per la produzione dei componenti plastici, sono già dotate di un controllo basato sull'analisi statistica e sono quindi in grado di individuare e scartare eventuali *outlier*; che se si ripetono consecutivamente per tre volte emettono un allarme e bloccano la produzione, per evitare spreco di materia prima e potenziali guasti maggiori. Questi macchinari inoltre, prevedono il collegamento in remoto da parte dei tecnici della casa costruttrice, i quali sono in grado di individuare eventuali malfunzionamenti e se possibile, risolverli mediante intervento sui *software* per aggiornamenti migliorativi e risoluzione di problemi. Data la natura dei pezzi prodotti e la tecnologia *IoT* implementata, questi macchinari sono in grado di offrire un controllo qualità in tempo reale poiché i parametri di riferimento da controllare sono di natura meccanica e geometrica, con i primi che non subiscono alterazioni durante le lavorazioni e quindi per questi basta il controllo in ingresso effettuato sulla materia prima; mentre invece per il controllo delle caratteristiche geometriche è necessaria l'ispezione visiva dell'operatore ad intervalli di tempo regolari oppure un controllo laser a bordo macchina, capace di ispezionare istantaneamente il componente a 360° (es. macchina *General expression*). Il costo di questa macchina laser è ancora elevato, circa centomila euro, quindi è ipotizzabile in una visione di breve periodo un controllo visivo dell'operatore e quando la produttività e le finanze aziendali lo giustificheranno, l'acquisto del macchinario e l'automatizzazione di questo controllo.

5.3.2 Manutenzione predittiva

Per le imprese manifatturiere la manutenzione è un aspetto particolarmente critico a causa del peso specifico che questi costi hanno sul bilancio aziendale. Proprio per questo motivo che le tecnologie *IoT*, *CPS* e *Big Data* possono offrire importanti benefici nella percezione dell'usura dei componenti e quindi la programmazione degli interventi manutentivi; i quali, in tal modo, diventano ordinari e non straordinari. Queste soluzioni riescono a garantire la continuità operativa oltre che una maggiore economicità dei pezzi da sostituire, evitando guasti maggiori.
Per quanto riguarda il caso aziendale di Tecfi, ad oggi la maggior parte dei macchinari utilizzati segnalano, come spiegato nel paragrafo precedente, un eventuale guasto al terzo prodotto consecutivo non conforme al controllo statistico,

grazie ai sensori su di essi implementati. Quindi più che la pura manutenzione predittiva vengono effettuati dei controlli statistici di processo, uno per i macchinari della viteria e l'altro per le presse ad iniezione delle produzioni plastiche, senza quindi un'analisi comparativa su un *database* storico e unico per l'intero impianto. La vera e propria manutenzione predittiva non è ancora considerata strategicamente rilevante poiché data la giovane età degli impianti ed i numerosi articoli prodotti, i lotti di produzione sono dimensionalmente piccoli, quindi i fermi macchina per il riattrezzaggio sono frequenti e per questo un eventuale ulteriore fermo macchina non incide eccessivamente sulle finanze aziendali, se non per il mancato ammortamento nel periodo in cui la macchina è ferma.
Nell'ottica di medio-lungo periodo, coerentemente con la strategia di raggiungere *partner* importanti per i quali sviluppare prodotti, è prevista la crescita delle dimensioni dei lotti e quindi per la ricerca dell'efficienza produttiva è fondamentale sviluppare un piano di manutenzione predittiva performante, da integrare nel sistema *cloud* aziendale.

5.3.3 RFID vs Barcode: le tecnologie che trasformano le informazioni fisiche in digitale

Restando nell'ambito *Internet of Things* meritano sicuramente un approfondimento le tecnologie di lettura codici, distinte più in particolare in sistemi laser (codici a barre) e sistemi a radio-frequenza (*RFID*) che seppur antecedenti all'Industria 4.0, sono fondamentali per la raccolta delle informazioni funzionali alle tecnologie *digital*. Entrambe queste tecnologie, seppure in maniera molto diversa, hanno lo scopo di assicurare la tracciabilità ed il monitoraggio delle lavorazioni e le movimentazioni di materiali. I sistemi *RFID* riescono ad essere molto più efficienti poiché la trasmissione del segnale radio permette il riconoscimento in parallelo delle etichette raggiunte dalle onde radio, senza contatto visivo tra il *reader* ed il *tag*; mentre invece la lettura del *barcode* è di tipo sequenziale, quindi è leggibile un codice per volta, poiché è necessario che il raggio laser entri direttamente in contatto con l'etichetta. Da qui è facilmente comprensibile il vantaggio offerto dal *RFID* in termini di monitoraggio delle attività di magazzino, come ad esempio l'inventario *real-time*, la localizzazione univoca di ogni singola etichetta e la possibilità di riconoscere tutti gli articoli contenuti in un pallet senza doverlo

sconfezionare, il che vuol dire ridurre i carichi di lavoro degli operai ed il rischio di errori di scansione; ma di contro ci sono i costi elevati di questa tecnologia, sia per la singola etichetta che per l'attrezzaggio del magazzino con i *reader*, rendendola fuori portata per un'impresa delle dimensioni di Tecfi che gestisce e movimenta centinaia di migliaia confezioni etichettate, con una parte di queste che contengono articoli di minuteria dal costo inferiore all'etichetta stessa; per questo motivo che la tecnologia *barcode* è considerata ancora molto più performante, poiché per l'implementazione è necessario il solo acquisto a prezzi accessibili di un generatore di codici e dei lettori. Ma la modalità di scrittura oltre che di lettura delle etichette *RFID*, invita a mantenere alta l'attenzione sulle possibili evoluzioni future di questa tecnologia, poiché in ambito produttivo potrebbe generare buoni vantaggi in ottica *Big Data,* per il miglioramento della qualità dei pezzi prodotti; dato che queste etichette possono mantenere traccia lungo tutto il processo delle caratteristiche chimico-fisiche del materiale, permettendo di individuare eventuali lavorazioni o condizioni esogene (ad esempio temperatura, pressione atmosferica ecc) che possano compromettere le caratteristiche del prodotto finito.
Secondo il professore e ricercatore Gyoujin Cho, (Cho, et al., 2010), la svolta per l'*RIFD* è rappresentata dalla stampa elettronica, che quando sarà sviluppata, ridurrà il costo del singolo *tag* a circa tre centesimi di dollaro, determinando così la definitiva affermazione della tecnologia a radio frequenza sul sistema *barcode*.

5.4 ALTRE TECNOLOGIE IMPLEMENTABILI

5.4.1 Agumented Reality (AR)

La tecnologia della Realtà Aumentata può avere importanti applicazioni nel caso studio, in ambito produttivo e manutentivo, determinando importanti spunti di miglioramento.
Per quanto riguarda la produzione, l'AR può rappresentare un efficiente strumento per l'ottimizzazione delle lavorazioni di assemblaggio, così come per alleggerire i carichi di lavoro dell'Ufficio Tecnico per il controllo qualità. Ricordiamo che, come descritto al paragrafo *4.2.1*, le attività di assemblaggio vengono eseguite sia internamente che esternamente, presso fornitori terzisti, ai quali è necessaria la

giusta formazione nell'assemblare un nuovo prodotto. Proprio per queste attività formative l'implementazione dell'*AR* potrebbe offrire un incremento di efficienza, poiché basterebbe digitalizzare i manuali di produzione integrandoli con dei video illustrativi, questi possono essere trasferiti ai fornitori che potranno così prendere visione delle operazioni da seguire attraverso un normale *tablet* o *smartphone*. Inoltre, attraverso la telecamera di questi dispositivi possono essere effettuati i Controlli Qualità, sovrapponendo l'immagine del pezzo reale assemblato con il suo clone virtuale, elaborando magari un'applicazione collegata in remoto con la rete aziendale che, in linea con le procedure aziendali, possa in automatico comunicare al sistema aziendale l'esito del controllo qualità.

L'altro ambito applicativo è invece quello della manutenzione ordinaria e straordinaria che permetterebbe una rilevante riduzione delle tempistiche di fermo macchina. In questi casi è più realistico pensare all'implementazione della tecnologia attraverso *smart glasses* in modo che l'operatore durante l'intervento possa utilizzare entrambe le mani. Affinché sia realizzabile questa applicazione è però necessaria una collaborazione con la casa costruttrice degli impianti che deve produrre i giusti strumenti di supporto, come i manuali digitali, per la manutenzione ordinaria e prevedere la presenza di un operatore *real-time*, in remoto, per la manutenzione straordinaria.

In conclusione, per quanto riguarda le attività manutentive, data la complessità delle soluzioni proposte e la dipendenza dalle case produttrici dei macchinari, è abbastanza complesso determinare le tempistiche affinché lo scenario tracciato possa realizzarsi; ma le applicazioni produttive, soprattutto le soluzioni funzionali alla formazione, potrebbero essere facilmente introdotte poiché non dovrebbero esserci particolari difficoltà tecniche ed economiche.

5.4.2 Additive Manufacturing (AM)

L'implementazione di una o più tecniche di *Additive Manufacturing*, seppur in un'ottica di lungo periodo, potrebbe essere considerata una valida soluzione per la realizzazione degli stampi, sia nelle fasi di prototipazione che per la produzione.

Ad oggi, la tecnica di produzione SLS potrebbe essere considerata la più efficiente per il caso particolare, ma dato l'attutale sviluppo della tecnologia e le ancora scarse applicazioni nel settore specifico, appare molto complicato poter fare una stima

delle tempistiche di adozione di tale tecnologia. I benefici ottenibili, considerati i numeri di Tecfi, sono invece facilmente ipotizzabili; tanto è vero che ad oggi vengono utilizzati circa 50 stampi per la produzione dei componenti plastici e circa 100 per i macchinari della viteria con i prezzi che oscillano dagli 80.000 ai 160.000€, in funzione della complessità del pezzo ed il materiale scelto per la realizzazione, mentre per gli stampi pilota variano dai 2.000 ai 5.000€, con un *lead time* che varia dalle 3 settimane ai 2 mesi. Considerato quindi l'impatto di questi componenti sulle voci di costo del bilancio aziendale e la potenziale riduzione del *time-to-market*, quando la tecnologia SLS, seppur molto costosa, avrà raggiunto buoni livelli di efficienza in termini di resistenza meccanica e termica, ma soprattutto riuscirà a garantire agli oggetti prodotti la giusta precisione superficiale, potrebbe essere seriamente preso in considerazione tale investimento.
Considerando invece l'ambito produttivo è ancora più complesso ipotizzare l'utilizzo di tali tecniche per la produzione di componenti o prodotti finiti dato che le proprietà meccaniche e geometriche dei sistemi di fissaggio, che sono alla base dello sviluppo prodotto di questa *industry*, sono anche il punto debole di molte tecniche di produzione additiva. Inoltre, date le attuali modalità di produzione e le geometrie di questi articoli, gli scarti di produzione sono già considerati irrilevanti quindi, allo stato attuale dei benefici ottenibili, l'*AM* per la produzione è da escludere.

5.5 CONSIDERAZIONI SULLE SOLUZIONI PROPOSTE

Nel corso del quinto capitolo sono state presentate le tecnologie *digital* implementabili al caso aziendale Tecfi SpA, sulla base delle criticità riscontrate al capitolo 4 e prendendo spunto dai fondamenti teorici (capitolo 1) e dagli esempi di implementazione tratti dalla letteratura (paragrafo 2.2.1). Per le soluzioni proposte, funzionali al miglioramento dell'efficienza aziendale, nel corso di questo paragrafo ed in tabella 6, verrà fatta in prima battuta una distinzione riguardo la possibilità di implementazione in un orizzonte temporale ragionevole (circa 2-3 anni), dato lo stato dell'arte di ottimizzazione delle tecnologie e l'attuale applicabilità al modello di business di Tecfi.

Poi si procederà a classificare le tecnologie ritenute "Implementabili" per le esigenze del business, tenuto quindi conto delle priorità del management e dei vincoli finanziari da rispettare.

Tabella 6 - Pre-classificazione delle soluzioni proposte

SOLUZIONI IMPLEMENTABILI	SOLUZIONI NON ANCORA IMPLEMENTABILI
○ Tracciabilità ed informatizzazione del processo di preparazione dell'ordine (Processo *To-Be*)	○ Macchina ispettiva per il controllo qualità degli elementi geometrici dei pezzi prodotti
○ Impianto sensori ed implementazione del controllo di processo integrato	○ Manutenzione predittiva
○ *ERP* in *Cloud Computing* per l'integrazione di tutte le funzioni aziendali	○ Implementazione delle soluzioni RFID per la gestione delle attività di magazzino
○ *AR* per le attività di assemblaggio e per il controllo qualità degli assemblati	○ *AM* per la produzione degli stampi
	○ *AR* per la manutenzione ordinaria e straordinaria degli impianti di produzione

Le "Soluzioni non ancora implementabili", come evidenziato nei rispettivi paragrafi, sono considerate tali per dei limiti strutturali e finanziari dell'azienda e per dei vincoli dovuti allo sviluppo della tecnologia; ma soprattutto perché non è ancora emersa l'esigenza di ottimizzazione riscontrata per l'informatizzazione del processo di preparazione dell'ordine. La possibilità di effettuare un controllo geometrico automatizzato a bordo macchina, ad oggi, non è fattibile dato il costo ancora elevato di tale tecnologia; così come è ancora troppo esoso l'investimento per il passaggio alle etichette *RFID* che riuscirebbero sicuramente ad offrire grossi vantaggi per il monitoraggio del magazzino, ma l'analisi dei costi-benefici non lo ritiene ancora implementabile al caso specifico. È invece il vincolo tecnologico della finitura superficiale garantita dalla tecnologia *SLS*, non ancora conforme agli standard del settore, a bloccare l'idea di utilizzare l'*Additive Manufacturing* per la prototipazione e produzione interna degli stampi produttivi; ma non appena

miglioreranno le *performance* di questa tecnologia sarà sicuramente presa in considerazione date le vantaggiose prospettive di riduzione del *Time-to-Market*. L'*AR* per le attività manutentive non sarebbe un investimento troppo costoso, il prezzo degli *smart glasses* varia dai 700€ per gli Epson Moverio BT-200 [19] ai 1550€ dei Google Glass Enterprise Edition 2.0 [20], ma affinché sia implementabile è necessario che le case costruttrici di questi macchinari sviluppino i manuali in digitale, organizzino corsi di formazione e prevedano degli operatori dedicati al supporto *customer real-time*. Infine, la manutenzione predittiva date le attuali dimensioni dei lotti di produzione ancora limitate, ad oggi, non è considerata una soluzione strategicamente vantaggiosa e per questo non si può ragionevolmente ipotizzare un orizzonte temporale di implementazione.

5.5.1 Classificazione soluzioni implementabili

Dopo aver analizzato i motivi per i quali alcune soluzioni introdotte non sono ancora implementabili, si passa alla classificazione delle tecnologie *digital* che nel corso dei prossimi anni offriranno importanti benefici al caso aziendale Tecfi SpA. Sulla base dei processi che necessitano maggiore ottimizzazione e coerentemente con i vincoli finanziari imposti dall'azienda, l'ordinamento pensato è il seguente:

1. Informatizzazione del processo di preparazione dell'ordine (Processo *To-Be*)
2. Impianto sensori ed implementazione del controllo di processo integrato
3. *ERP* in *Cloud Computing* per l'integrazione di tutte le funzioni aziendali
4. *AR* per le attività di assemblaggio e per il controllo qualità degli assemblati

L'informatizzazione del processo di preparazione dell'ordine, come più volte sottolineato nel corso dell'elaborato, è il principale ambito strategico di ottimizzazione, dato l'impatto determinate sul *core business* aziendale e di conseguenza per la determinazione del valore aggiunto da trasferire al consumatore finale. L'informatizzazione di questo processo prevede l'implementazione del modulo di logistica sul gestionale aziendale, ma si va ad inserire in un progetto più ampio di implementazione di un *ERP* in *Cloud Computing PaaS*, al fine di integrare in un unico *database* condiviso tutte le informazioni (*Big Data*) relative alle attività

finanziare, logistiche, vendite, distribuzione, approvvigionamenti, produzione e gestione delle risorse umane, in modo da cercare di ridurre al minimo le inefficienze dovute al flusso informativo informale ed allo stesso tempo ottimizzare al massimo tutte le informazioni gestite da ogni singola funzione aziendale. È logico pensare che prima di integrare una soluzione *ERP* all'intera impresa, l'intero sistema produttivo debba essere completamente connesso ai sistemi informativi aziendali, quindi l'investimento di trasformazione *Smart Manufacturing*, considerando anche l'accessibilità economica, va a precedere nella classificazione l'implementazione dell'*ERP*. L'implementazione della tecnologia *AR* può invece garantire importanti vantaggi all'assemblaggio riducendo le tempistiche ed i costi di alcune sue attività. Analizzando le applicazioni dell'*Agumented Reality* abbiamo visto che può fornire importanti benefici sia per la formazione degli assemblatori, interni ed esterni, che per il controllo qualità degli articoli assemblati; senza investimenti eccessivi, dato lo sviluppo delle tecnologie CAD già in possesso dell'impresa, e grazie all'economicità raggiunta dei *device* (*tablet* e *smart glasses*) per la visualizzazione ed il confronto dei modelli tridimensionali con l'oggetto reale.

5.5.2 Investimento ERP

Tra gli investimenti *digital* da affrontare nei prossimi anni, il più importante è sicuramente l'implementazione dell'*ERP* e proprio per questo motivo, in accordo con l'azienda, sono stati effettuati alcuni studi di soluzioni *ERP* in *Cloud*, più o meno complesse e più o meno customizzabili, presenti sul mercato. Dalla seguente figura si riesce ad avere una panoramica di tutti i fornitori di servizi gestionali, ordinati per funzionalità integrate ed integrabili e per semplicità di utilizzo.

Figura 43 - Overview mercato soluzioni ERP (www. cdn2.hubspot.net)

Tra queste soluzioni sono state raccolte informazioni da consulenti IBM e Oracle per i gestionali SAP, Microsoft e NetSuite ed è stata elaborata una tabella riepilogativa dei costi da sostenere, riportata di seguito:

Tabella 7 – Macro voci di costo sistema ERP

Macro Voci di Costo	Costi ricorrenti	Costi Fissi
Hardware		x
Software: OS Licenze		x
Software: Database Licenze		x
Software: Licenze n.ro utenti	x	
Implementazione Progetto		x
FI - Finance		
CO - Controlling		
MM - Acquisti e Magazzino		
WM - Magazzino Fisico		
SD - Vendite e Distribuzione		
PP - PRoduzione		
Altri moduli ??		
Integrazione		x
Manutenzione	x	
sistemista (Stipendio)	x	
applicativo (Stipendio)	x	
sviluppatore (Stipendio)	x	

Per un sistema ERP, data la natura del prodotto e le variabili di implementazione da tenere in considerazione, è molto complesso fare una stima puntuale dei costi da sostenere sia per il software in sé che per le attività di trasformazione, dei processi aziendali, e di formazione del personale, ad opera dei consulenti esterni.
In ogni caso, i costi di implementazione di un sistema SAP per le esigenze di Tecfi dovrebbero variare tra i 12.000 € ed i 15.000 € per ognuna delle 40 utenze necessarie, mentre invece i costi dei consulenti dovrebbero avere un rapporto di circa 2:1 rispetto ai costi di implementazione; quindi l'investimento oscillerebbe tra 1.440.000 € ed il 1.800.000 €, ai quali vanno aggiunti i costi annui ricorrenti [21].
È molto chiaro che data la portata dell'investimento, ma soprattutto tenuto conto delle caratteristiche del sistema SAP, pensato soprattutto per le aziende multinazionali di grandi dimensioni, che questa soluzione sia da sicuramente da escludere. Il sistema gestionale Microsoft Dynamics è invece pensato per medie realtà ed i costi di implementazione dovrebbero essere più che dimezzati rispetto alla soluzione SAP; ma nelle ultime settimane, nell'ambito di preparazione di questo studio, l'azienda ha preso contatto con Oracle per affrontare le tematiche di una potenziale implementazione del gestionale *Cloud* NetSuite che sembra incontrare maggiormente le necessità dell'azienda, sia di budget che per l'adattabilità al business di Tecfi. In ogni caso, ad oggi, si è arrivati solo ad incontri introduttivi e l'azienda è in attesa di ricevere una prima demo ed una stima dei potenziali costi di implementazione; i quali, secondo questi primi contatti, dovrebbero essere molto inferiori a quelli dei sistemi descritti precedentemente, circa 1/5 rispetto a SAP.

6 CONCLUSIONI

A questo punto, presentati ed approfonditi gli ambiti di applicabilità degli strumenti abilitanti la *Digital Supply Chain*, al caso aziendale della Tecfi SpA, è stato mostrato come queste tecnologie abbiano il giusto potenziale per risolvere le principali criticità di una media impresa italiana, senza stravolgere il *modus operandi* degli addetti ai lavori e supportandoli affinché possano incrementare l'efficienza dell'intero sistema aziendale.

Le tecnologie presentate, considerati i fondamenti teorici ed i casi di implementazione ipotizzati, dimostrano come i *Big Data* con il supporto decisionale, il *Cloud Computing* con la condivisione dell'informazione, l'*Agumented Reality* con la formazione e la manutenzione, gli strumenti *IoT* e *CPS* per l'ottimizzazione della produzione e l'automatizzazione delle attività ridondanti, rafforzino la collaborazione trans-funzionale e l'integrazione degli attori della *Supply Chain*, fondamentali a garantire la giusta flessibilità e condivisione dell'informazione per la soddisfazione del consumatore finale e l'ottimizzazione delle attività lungo l'intera catena, al fine di ridurre il costo delle inefficienze e massimizzare la *value creation*.

Nel corso di quest'ultimo capitolo saranno innanzitutto presentate le considerazioni finali riguardo lo studio effettuato, poi verranno analizzati i benefici ottenuti dalla Tecfi SpA dal lavoro di tesi e dopo aver evidenziato i limiti di questo studio, si concluderà con gli spunti futuri della ricerca offerti dalle tematiche trattate.

6.1 CONSIDERAZIONI FINALI

L'obiettivo iniziale di questo studio era da un lato capire l'impatto che potesse avere la *Digital Supply Chain* su una media impresa manifatturiera operante nell'*industry* delle costruzioni, più specificatamente nel settore dei sistemi di fissaggio; e dall'altro comprendere come questi strumenti innovativi potessero risolvere le inefficienze del processo di preparazione dell'ordine della Tecfi SpA, determinate dalla gestione informale del flusso informativo, l'assenza di monitoraggio dei flussi di magazzino e la mancanza di tracciabilità univoca dell'intero processo.

Quindi, al termine di questo elaborato, avendo analizzato gli aspetti teorici, i casi implementativi e dopo aver approfondito alcune potenziali applicazioni al contesto specifico, è chiaramente evidente che ognuna di queste tecnologie abilitanti la *DSC* porterebbe all'impresa specifici benefici; ma se queste soluzioni sono integrate tra loro, il beneficio marginale garantito dal *network* digitale è più che proporzionale. A tal riguardo, l'insieme delle tecnologie *digital* sembrano incorporare gli stessi effetti di superadditività della teoria della produttività di squadra (Alchian e Demsetz, 1972), dove nel caso specifico il fattore non è l'impegno del lavoratore ma i benefici delle singole tecnologie, quindi la produttività di una tecnologia dipende dalla presenza di un'altra tecnologia e dalla loro interazione, per questo implementare più tecnologie vuol dire essere più produttivi e più efficienti.
Come dimostra il caso particolare della Tecfi SpA, i benefici garantiti dall'implementazione del *Cloud Computing*, per l'integrazione trans-funzionale e della *Supply Chain*, sarebbero vani se non supportati dalla tracciabilità offerta dai sistemi *IoT*, in grado di dare l'input al processo di informatizzazione delle attività, e dal supporto elaborativo dei *Big Data Analytics*, funzionali all'estrapolazione del valore intrinseco ai dati raccolti e capaci di evidenziare ogni trend funzionale al processo decisionale. In altre parole, il *Cloud Computing* risulta essere il *network* che sostiene l'intera infrastruttura, gli strumenti *IoT* l'interfaccia tra la componente fisica e quella virtuale dell'azienda ed i *Big Data* la tecnologia analitica ed elaborativa in grado di supportare il processo decisionale, ottimizzando l'impiego di tutte le risorse coinvolte.

6.2 BENEFICI PER L'AZIENDA DEL LAVORO DI TESI

Data la natura innovativa delle tematiche trattate e le soluzioni proposte alle criticità riscontrate, questo studio può rappresentare per la Tecfi SpA un prezioso strumento di pianificazione per le scelte future di investimento. Le soluzioni pensate, hanno in generale ricevuto un *feedback* positivo da parte dell'azienda, in particolare per le tecnologie ritenute "implementabili" al paragrafo 5.5. Tra tutte, l'attenzione maggiore è stata sicuramente dedicata alla rigenerazione organizzativa e funzionale del processo di preparazione dell'ordine che, data l'attuale fase storica dell'azienda, rappresenta una delle priorità di investimento nell'immediato futuro, affinché la

struttura logistica possa sostenere la crescita prevista dalle attività produttive. Proprio questa graduale, ma sempre più rilevante mutazione dell'impresa da commerciale a manifatturiera, deve spostare l'attenzione del *management* sulla necessità di gestire in maniera formale il flusso informativo interno ed esterno all'azienda, in modo da integrare le funzioni aziendali e l'intera *Supply Chain*. Quindi, l'opportunità di implementare un sistema *ERP*, *web based* integrato, potrebbe non solo offrire i vantaggi visti al paragrafo 5.2 in materia di *Customer Relationship Managemnt*, *Supply Chain Management*, *Demand Planning* ecc., ma combinato con gli investimenti implementativi lo *smart manufacturing*, riuscirebbe a garantire la giusta pianificazione delle attività produttive, uno dei principali ambiti di ottimizzazione delle aziende manifatturiere.

Allo stesso tempo, la scalabilità e la misuratezza della tecnologia *Cloud Computing* semplificherebbe una potenziale decisione strategica di internazionalizzazione, apertura di una o più filiali in altri paesi, evitando ulteriori investimenti per rafforzare l'infrastruttura *IT* e pagando in base ai reali consumi.

Un ulteriore vantaggio offerto da questo studio per la Tecfi SpA è senza dubbio la soluzione dell'*Agumented Reality*, funzionale per le attività di formazione e di controllo qualità degli articoli assemblati. Quest'ultimo aspetto, dato il numero crescente di controlli da effettuare per l'Ufficio Tecnico, sta diventando sempre più un collo di bottiglia, quindi tale soluzione permetterebbe agli assemblatori di effettuare i controlli da remoto ed inviare i risultati tramite una piattaforma integrata, come spiegato al paragrafo 5.4.1; alleggerendo così la mole di lavoro di questa funzione aziendale, senza richiedere grossi investimenti vista l'accessibilità della tecnologia *AR*.

6.3 LIMITI DEL LAVORO DI TESI

Nonostante i numerosi benefici che le tecnologie *DSC* ed il lavoro di tesi possono garantire alla Tecfi SpA, la natura innovativa di queste soluzioni evidenzia anche dei limiti alla loro applicabilità al caso specifico, che nel corso di questo paragrafo saranno analizzati.

Tra le soluzioni implementabili sono senza dubbio di primaria importanza l'informatizzazione del processo di preparazione dell'ordine e l'adozione di una

tecnologia *ERP* integrata, per tutti i vantaggi descritti nel corso dello studio e brevemente riassunti al paragrafo 6.2.

La ristrutturazione del processo di preparazione dell'ordine è stata divisa in due fasi secondo una logica incrementale, visione di breve termine e visione di lungo termine. Lo sviluppo della prima fase non presenta particolari criticità finanziare ed organizzative, dato che il modulo logistico è già stato acquistato nell'investimento iniziale del gestionale e quindi bisogna solo collaborare con lo sviluppatore per ottenere la soluzione personalizzata proposta, quanto più possibile in linea con le attuali *routines*; mentre invece è molto più complesso analizzare l'implementazione della soluzione *ERP*, la quale prevede, tra l'altro, l'*upgrade* del processo di preparazione dell'ordine con il passaggio dalla visione di breve a quella di lungo termine. Come definito nell'analisi delle soluzioni *ERP* (paragrafo 5.5.2), ad oggi, nonostante alcuni studi conoscitivi del mercato, risulta ancora complicato stimare l'investimento, poiché le soluzioni integrate sono personalizzate al punto che risulta davvero complicato stimare i costi, se non dopo essere riusciti ad elaborare una prima demo del prodotto ed averne compreso affondo la funzionalità, aver indicato le modifiche necessarie per trovare così la migliore soluzione per la Tecfi SpA. Essendo quindi tale progetto ancora alle fasi preliminari, rappresenta un limite per il caso studio specifico.

Altri limiti di questo lavoro di tesi sono invece dovuti esclusivamente all'alto grado di innovazione, per lo specifico caso di Tecfi SpA, di alcune soluzioni proposte come ad esempio l'*RFID* e le macchine ispettive per il controllo qualità che promettono importanti vantaggi per il monitoraggio dello *stock* e delle attività produttive, come visto per alcuni casi applicativi del settore *automotive* ed aerospaziale, ma data la natura dei prodotti offerti risulta ancora troppo costosa; così come l'*AM*, molto performante per le fasi di prototipazione e produzione in molte *industry*, ma ritenuta ancora non conveniente per l'inefficiente livello di precisione superficiale. In ogni caso, molte di queste tecnologie *digital*, introdotte e non approfondite, rappresentano un limite dello studio ma allo stesso tempo offrono importanti spunti di analisi per il futuro.

6.4 PASSI FUTURI

I vantaggi ed i limiti riscontrati nei paragrafi precedenti, offrono all'azienda un importante input per gli studi futuri. Sarà innanzitutto fondamentale continuare ad approfondire l'analisi della soluzione *ERP*, in modo da avere le idee chiare nel momento in cui l'azienda si ritiene pronta per questa trasformazione, considerando che le tempistiche di implementazione sono abbastanza lunghe (circa 9-12 mesi secondo i consulenti contattati). Intanto, parallelamente a questa pianificazione, l'operatività si deve concentrare sull'introduzione della soluzione di breve periodo, in linea con la strategia incrementale per non causare un impatto *distruptive* sulle *operation* aziendali. Lo studio delle soluzioni *ERP* deve prevedere non solo la scelta del miglior *provider* per le esigenze di Tecfi, ma bisogna definire efficientemente i moduli da implementare e la possibilità di offrire nuovi servizi ai clienti al fine di migliorare la *customer experience* ed incrementare l'integrazione della *Supply Chain*, come definito al paragrafo 5.2.1. Contestualmente alla scelta dei moduli, è necessario anche un maggiore approfondimento in materia *Big Data* per capire come massimizzare il valore dalle informazioni e quindi quale reportistica sviluppare.

Come accennato al termine del paragrafo 6.3, ci sono alcune tecnologie che questa tesi ha solo presentato e le quali evoluzioni nel tempo dovranno essere monitorate affinché si possano effettuare studi di fattibilità e cogliere opportunità vantaggiose, su tutti *RFID* e *AM*.

Il monitoraggio delle scelte tecnologiche dei pionieri del settore, dato il contesto innovativo e le dimensioni dell'azienda, possono essere una buona strada per comprendere i benefici ottenibili e di conseguenza decidere se e come implementare queste tecnologie.

La presente tesi si è maggiormente concentrata sugli aspetti logistici della Tecfi SpA, poiché l'ambito produttivo è ancora molto giovane e quindi quelli che nel corso dell'elaborato sono stati introdotti come spunti di ottimizzazione, nei prossimi anni, crescendo i numeri della produzione e la necessità di massimizzare l'efficienza delle risorse utilizzate, saranno soluzioni da studiare per risolvere criticità rilevanti; motivo per il quale l'ambito produttivo sarà il protagonista della ricerca futura, affinché possano essere trovate le giuste soluzioni *digital* per alzare ancora di più l'asticella delle performance aziendali.

BIBLIOGRAFIA

Abaker, I., Hashem, T., Yagoob, I., Anuar, N., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S. (2014), "*The rise of "big data" on cloud computing: Review and open research issues*", Elsevier, Vol. 47 No 1, pp. 98-115

Aceto, G., Botta, A., Pescapè, A., & de Donato, W. (2013) "*Cloud monitoring: A survay"*, Elsevier, Vol. 57 No. 9, pp. 2093-2115

Al-Ahmari, A., Abidi, M., Ahmad, A., & Darmoul, S. (2016), "*Development of a virtual manufacturing assembly simulation system*", SAGE, Vol. 8 No. 3, pp. 1-13

Al-Ahmari, A., Mabkhot, M., Salah, B., & Alkhalefah, H. (2018), "*Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective*", Machines, Vol. 6 No. 23, pp. 1-22

Amberg, J. (2015), "*Industria 4.0 e i sistemi cyber-fisici - collocazione ed esempio*", available at: https://www.halstrup-walcher.de/halstrup-walcher-wAssets/docs/pressemeldungen/IT/2015_Fachartikel_Industria-4.0-Cambio-di-formato_IT.pdf (accessed 22 November 2018)

Ashton, K. (2009), "*The Internet of Things thing*", RFiD Journal, 22, 97-114

Baur, C., & Wee, D. (2015), "*Manufacturing's next act*", McKinsey & Company Operations, *June*, available at: https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act (accessed 7 Dicember 2018)

Bellini, M. (2018), "I*oT (Internet of Things): significato, esempi e applicazioni pratiche*", available at: https://www.internet4things.it/iot-library/internet-of-things-gli-ambiti-applicativi-in-italia (accessed 12 Dicember 2018)

Bellini, M. (2019), "B*lockchain: cos'è, come funziona e gli ambiti applicativi in Italia*", available at: https://www.blockchain4innovation.it/esperti/blockchain-perche-e-cosi-importante (accessed 15 January 2019)

Beltrametti, L., Guarnacci, N., Intini, N., & La Forgia, C. (2017), "*La fabbrica connessa. La manifattura italiana attra(verso) l'Industria 4.0",* goware, Firenze, Italia

Ben-Daya, M., Hassini, E., & Bahroun, Z. (2017), "*Internet of things and supply chain management: a literature review*", International Journal of Production Research, DOI: 10.1080/00207543.2017.1402140

Benedetti, M., (2016), "*La tecnologia blockchain: nuove prospettive per I mercati finanziari*", in *Convegno della Banca d'Italia, 21 Giugno 2016, Roma*, *Italia*

Bloss, R. (2016), "*Collaborative robots are rapidly providing major improvements in productivity, safety, programing ease, portability and cost while addressing many new applications*", Industrial Robot: An International Journal, Vol. 43 No. 5, pp. 463-468

Bogue, R. (2016), "*Growth in e-commerce boosts innovation in the warehouse robot market",* Industrial Robot: An International Journal, Vol. 43 Issue: 6, pp.583-587

Boschi, F., Taisch, M., & De Carolis, A. (2017), "*Nel cuore dell'Industry 4.0: i Cyber-Physical Systems"*, available at: https://www.industriaitaliana.it/nel-cuore-dell-industry-4-0-i-cyber-physical-systems/ (accessed 22 November 2018)

Burgess, K., Singht, P., & Koroglu, R. (2006), "*Supply Chain Management: A Structured Literature Review and Implications for Future Research*", IEEE International Journal of Operations & Production Management, Vol. 26, No. 7, pp.703-729

Butner, K. (2010), "The smarter supply chain of the future", Strategy and Leadership, Vol. 38 No. 1, pp. 22-31

Cho, G., Noh, J., Yeom, D., Lim, C., Cha, H., Han, J., Subramanian, V. (2010), "*Scalability of Roll-to-Roll Gravure-Printed Electrodes on Plastic Foils*", IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing, Vol. 33 No. 4, pp. 275-283.

Damiani, E. (2010), "*Business Process* Modeling", available at: http://ra.crema.unimi.it/turing/materiale/admin/corsi/BusinessProcessEngineering/slide/BPE10.pdf (accessed 3 Marzo 2019)

D'Aveni, R. (2015), "*The 3D printing revolution*", Harvard Business Review, Vol. 93 No. 5, pp. 40-48.

de Leon, D. C., Stalick, A., Jillepalli, A., Haney, M., & Sheldon, F. (2017), "*Blockchain: properties and misconceptions*", Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship, Vol. 11 No. 3, pp.286-300

Domingo, M. (2012), "*An Overview of the Internet of Things for People with Disabilities*", Journal of Network and Computer Applications, Vol. 35 No.2, pp. 584–596

Durach, C., Kurpiuweit, S., & Wagner, S. (2017), "*The impact of additive manufacturing on supply chains*", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 47 No. 10, pp.954-971

Ford, S., & Despeisse, M. (2016), "*Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges*", Journal of Cleaner Production, Vol. 137 No. 1, pp. 1573-1587

Gerbert, P., Lorenz, M., Rüßmann, M., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnish, M. (2015), "*Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*", BostonConsultingGroup, April

Gong, C. (2009), "*Human-Machine Interface: Design Principles of Visual Information in Human- Machine Interface Design*", in *International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics in Hanzhou, Zhejiang, China, 26-27 August 2009*

Greebel, E., Moriarty, K., Callaway, C., & Xethalis, G. (2015), "*Recent key Bitcoin and virtual currency regulatory and law enforcement developments*", Journal of Investment Compliance, Vol. 16 No. 1, pp.13-18

Haber, S., & Stornetta, W. (1991), "*How to time-stamp a digital document*", Journal of Cryptology, Vol. 3 No. 1, pp. 99-111

Handfield, R., & Nichols, E. (2002), "*Supply Chain Redesign: Transforming Supply Chains into Integrated Value System*", Financial Times/Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ

Holmström, J., & Partanen, J. (2014), "*Digital manufacturing-driven transformations of service supply chains for complex products*", Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 19 No. 4, pp.421-430

Huang, M.-C., Yen, G.-F., & Liu, T.-C. (2014), "*Reexamining supply chain integration and the supplier's performance relationships under uncertainty*", Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 19 Issue: 1, pp.64-78

Hull, C. (1986), "*Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography*", Patent Number: 4,575,330, 11 March 1986, San Gabriel, California, U.S.

Iansiti, M., & Lakhani, K. (2017), "*The Truth About Blockchain*", Harvard Business Review, January-February

International Organization for Standardization (ISO), (2011), " *Ergonomics of Human System Interaction*", July 2011, Edition 1, pp. 1-94

Kumar, R., & Pugazhendhi, S. (2012), "*Information sharing in supply chains: an overview*", Procedia Engineering, Vol. 38, pp. 2147-2154

Lazzarin, D. (2016), "*Industria 4.0, le 6 tecnologie abilitanti secondo il Politecnico di Milano*", available at: https://www.digital4.biz/supply-chain/industria-40-politecnico-milano-sei-tecnologie-abilitanti/ (accessed 3 Dicembre 2018)

Lazzarin, D. (2018), "*Porter: Con la realtà aumentata colmeremo il gap tra mondo reale e mondo digitale"* available at: https://www.digital4.biz/executive/digital-transformation/porter-la-realta-aumentata-colmeremo-gap-mondo-reale-mondo-digitale/ (accessed 10 January 2019)

Lee, E. (2006), "*Cyber-Physical Systems - Are Computing Foundations Adequate*", Workshop on Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap October 16-17, 2006, Austin, Texas

Lee, I., & Lee, K. (2015), "*The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises*", Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 40 No. 7, pp. 593-602

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2014), "*A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*", Elsevier, Vol. 3, pp. 18-23

Mabkhot, M. M., Al-Ahmari, A. M., Salah, B., & Alkhalefah, H. (2018), "*Requirements of the Smart Factory System: A Survay and Perspective*", Machines, Vol. 6 No. 23, pp. 1-22

Magone, A., & Mazali, T. (2016), "*Industria 4.0: Uomini e macchine nella fabbrica digitale*", goware, Firenze, Italia

Manyika, J., Lund, S., Chui, M., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., Sanghvi, S. (2017), "*Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time o automation*", McKinsey Global Institute, McKinsey&Company, November 2017

Mell, P., & Grance, T. (2011), "*The NIST Definition of Cloud Computing*", National Institute of Standards and Technology, pubblicazione 800-145, Settembre 2011, available at: http://www.akite.net/Media/Default/files/nist-traduzione.pdf

Morfino, V. (2017), "*Caratteristiche dei Big Data: le 6 V* ", available at: https://www.linkedin.com/pulse/caratteristiche-dei-big-data-le-6-v-valerio-morfino (accessed 20 December 2018)

Motlagh, F., Göhner, P., Camarinha-Matos, L., Barrento, N., & Mendonça, R. (2014), "*Adaptive Human-Machine-Interface of Automation Systems*", in *5th Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems(DoCEIS),Costa de Caparica, Portugal*, *April 2014*

NIST, B. (2015), "*NIST Big Data Interoperability Framework: Volume 1, Definitions*", National Institute of Standards and Technology, pubblicazione 1500-1, September 16, 2015, pp. 1-32

O'Learly-Kelly, S., & Flores, B. (2002), "*The integration of manufacturing and marketing/sales decisions: impact on organizational performance*", Journal of Operations Management, Vol. 20 No. 3, pp. 221-240

Peshkin, M., Colgate, E., Wannasuphoprasit, W., Moore, C., Gillespie, B., & Akella, P. (2001), "*Cobot Architecture*", IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 17, No. 4, pp. 377-390

Piccolo, L. G. (2019), "*Analisi comparativa degli ERP: SAP, Microsoft Dynamics"*, available at: http://www.dbgroup.unimo.it/tesi/lucaPiccolo.pdf (accessed 10 March 2019)

Pinna, R. (2006), "*L'evoluzione della dimensione organizzativa della supply chain*", available at: http://www.academia.edu/565076/Levoluzione_nella_dimensione_organizzativa_della_supply_chain (accessed 12 November 2018)

Planzi, M., & Cavallaro, L. (2017), "*Operai 4.0 e Digital Blue Collar: le evoluzioni del lavoratore manuale nell'era digitale*", available at: https://www.digital4.biz/hr/professioni-digitali/operai-40-e-digital-blue-collar-le-evoluzioni-del-lavoratore-manuale-nell-era-digitale/ (accessed 14 Febbraio 2019)

Porta, M. (2016), "*Interazione Uomo-Macchina e Usabilità*", available at: https://vision.unipv.it/stm-cim/m_at09/stmcim-16.pdf (accessed 10 January 2019)

Raman, S., Patwa, N., Niranjan, I., Ranian, U., Moorthy, K., & Mehta, A. (2018), "Impact of big data on supply chain management", International Journal of Logistics Research and Applications, DOI: 10.1080/13675567.2018.1459523

Romero, D., Stahre, j., wuest, T., & Noran, O. (2016), "*Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies*", CIE46, 29-31 October, 2016, Tianjin, China

Savitz, E. (2013), "*The industrial internet: even bigger than big data*", Forbes, Ottobre, p.44

Schuh, G., Gartzen, T., Rodenhausen, T., & Marks, A. (2015), "*Promoting work-based learning through industry 4.0*", Procedia CIRP, Vol. 32, pp. 82–87

Schwartz, J., Collins, L., Stockton, H., Wagner, D., & Walsh, B. (2017), "*The future of work: The augumented workforce*", Global Human Capital Trends, Deloitte University Press, February 28, 2017

Seo, Y.-J., Dinwoodie, J., & Kwak, D.-W. (2014), "*The impact of innovativeness on supply chain performance: is supply chain integration a missing link?* ", Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 19 No. 5/6, pp. 733-746

Strozzi, F., Colicchia, C., Creazza, A., & Noè, C. (2017), "*Literature review on the 'Smart Factory' concept using bibliometric tools*", International Journal of Production Research, Vol. 55 No. 22, pp. 1-20

Torchiani, G. (2018), "*Cloud computing, cos'è e quali sono i benefici"*, available at: https://www.digital4trade.it/tech-lab/cloud-computing-cose-e-quali-sono-i-benefici/https://www.digital4trade.it/tech-lab/cloud-computing-cose-e-quali-sono-i-benefici/ (accessed 10 February 2019)

Trappey, C., Fan, C.-Y., Hsu, A., Li, X.-K., & Lee, J. (2017), "*IoT patent roadmap for smart logistic service provision in the context of Industry 4.0*", Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 40 No. 7, pp. 593-602

Tunisini, A. (2003), "*Supply Chain e strategie di posizionamento*", Carocci, Roma, pp. 20-21

Wee, D., Kelly, R., Cattell, J., & Breunig, M. (2015), "*Industry 4.0: How to navigate digitalization of the manufacturing sector*", McKinsey Operations, April 2015, available at: https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-four-point-o-how-to-navigae-the-digitization-of-the-manufacturing-sector (accessed 7 December 2018)

Wu, L., Xiaohang, Y., Jin, A., & Yen, D. (2016), "*Smart supply chain management: a review and implications for future research*", The International Journal of Logistics Management, Vol. 27 No. 2, pp. 395-417

Ylijoki, O., & Porras, j. (2018), "A recipe for big data value creation", Business Process Management Journal, https://doi.org/10.1108/BPMJ-03-2018-0082

SITOGRAFIA

[1] http://www.publicpolicy.it/wpcontent/uploads/2016/07/industria4.0.pdf

[2] http://www.ilprogettistaindustriale.it/ladditive-manufacturing-tra-prototipi-e-produzione-di-massa

[3]https://eiuperspectives.economist.com/sites/default/files/Addingitup_WebVersion.pdf

[4] http://www.confindustriasi.it/fabbrica4.0/Cap4.pdf

[5] https://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication

[6] http://www.justprint3d.it/stampa-3d/tecnologie/sla-dlp/

[7] http://www.justprint3d.it/stampa-3d/tecnologie/fdm/

[8] https://www.justprint3d.it/stampa-3d/tecnologie/sls/

[9] https://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering

[10] https://www.custompartnet.com/wu/3d-printing

[11] https://www.custompartnet.com/wu/ink-jet-printing

[12] https://www.custompartnet.com/wu/jetted-photopolymer

[13] https://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing

[14] https://www.iso.org/standard/52938.html

[15]https://www.wired.it/attualita/tech/2018/03/02/advanced-hmi-human-machine-interface/?refresh_ce=

[16] http://www.publicpolicy.it/wp-content/uploads/2016/07/industria4.0.pdf

[17]http://www.auxosrl.it/component/k2/62-strumenti-per-migliorare-i-processi-matrice-criticita-qualita

[18] https://www.reply.com/red-reply/it/

[19]https://www.hwupgrade.it/articoli/periferiche/3974/epson-moverio-bt-200-sul-mercato-italiano-da-maggio-a-699-gli-smart-glass_index.html

[20]https://android.hdblog.it/2017/08/08/Google-Glass-Enterprise-Edition-acquistabili-1550/

[21] http://www.dbgroup.unimo.it/tesi/lucaPiccolo.pdf